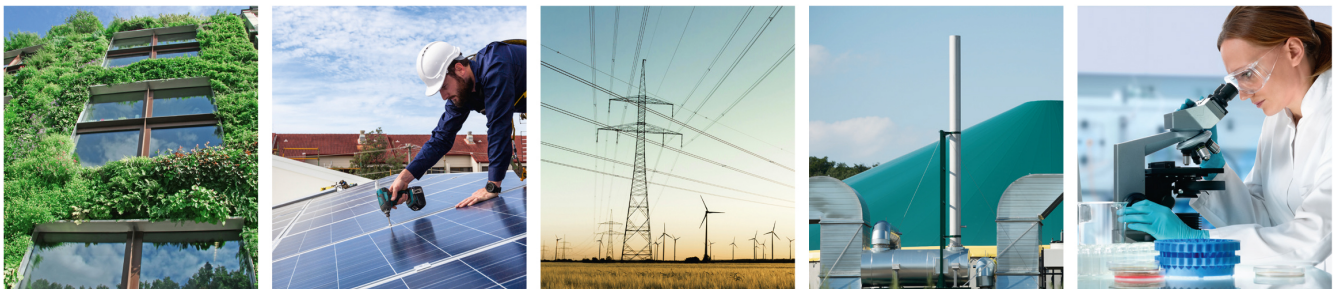


# Technologien für die Energiewende

## Kriterienraster



Teilbericht 1 zum Teilprojekt A im Rahmen  
des strategischen BMWi-Leitprojekts  
„Trends und Perspektiven der  
Energieforschung“

---

*Peter Viebahn*  
*Georg Kobiela*  
*Ole Zelt*  
*Martin Wietschel*  
*Simon Hirzel*  
*Juri Horst*  
*Jan Hildebrand*

**Herausgeber:**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme gGmbH  
Altenkesseler Str. 17, Geb. A1  
66115 Saarbrücken  
[www.izes.de](http://www.izes.de)

„**Wuppertal Reports**“ sind Abschlussberichte aus Projekten, die mit den Projektergebnissen aus der Arbeit des Instituts vertraut machen und zur kritischen Diskussion einladen. Das Wuppertal Institut achtet auf ihre wissenschaftliche Qualität. Für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Wuppertal, April 2018  
ISSN 1862-1953

Der Text dieser Publikation steht unter der Lizenz  
Creative Commons Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 4.0 International.  
Die Lizenz ist abrufbar unter <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Dieser Bericht ist Teil der Technologiebewertung im Rahmen des Forschungsvorhabens „Technologien für die Energiewende“. Er wird ergänzt durch weitere als „Wuppertal Report“ publizierte Berichte. Die Herausgeber danken allen beteiligten Forschungsinstituten, dem Fördermittelgeber und Projektträger sowie den zahlreichen projektexternen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie für die konstruktive Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge zur vorliegenden Publikation.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET4036A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autorinnen und Autoren.

**Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:**

Viebahn, P.; Kobiela, G.; Zelt, O.; Wietschel, M.; Hirzel, S.; Horst, J.; Hildebrand, J. (2018): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 1 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

**Projektlaufzeit:** August 2016 – April 2018

**Verbundpartner:**

Peter Viebahn, Ole Zelt, Manfred Fishedick (Wuppertal Institut, Koordination)  
Martin Wietschel, Simon Hirzel (Fraunhofer ISI)  
Juri Horst (IZES)

**Weitere Projektpartner:**

DBFZ - Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH  
DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
FZJ - Forschungszentrum Jülich GmbH  
GFZ - Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum  
HZB - Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH  
ISE - Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
ISFH - Institut für Solarenergieforschung Hameln gGmbH  
IWES - Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik  
ZAE - Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.  
ZSW - Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

## **Impressum**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

### **Ansprechpartner:**

Dr. Peter Viebahn  
Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen  
[peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)  
Tel. +49 202 2492-306  
Fax +49 202 2492-198

### **Stand:**

19. April 2018

### **Druck:**

OFFSET COMPANY Druckereigesellschaft mbH  
Wuppertal

### **Bildquellen:**

Titelseite: Thinkstock; iStock  
Erstes Foto links auf der Titelseite: Fotolia/mur végétal/hcast  
Rückseite: Thinkstock

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>1 Ziele und Ablauf der Technologiebewertung</b>	<b>11</b>
1.1 Ziele der Technologiebewertung	11
1.2 Zugrunde gelegte Energieszenarien	12
<b>2 Inhalte der Technologieberichte</b>	<b>15</b>
2.1 Überblick	15
2.2 Schritt 1: Beschreibung des Technologiefeldes	16
2.3 Schritt 2: Aktueller Entwicklungsstand und zukünftiger Entwicklungsbedarf der einzelnen Technologien in einem Technologiefeld	17
2.4 Schritt 3: Relevanz der öffentlichen Förderung	18
2.5 Schritt 4: Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes	18
2.6 Schritt 5: F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand	19
<b>3 Beschreibung des Kriterienrasters</b>	<b>21</b>
3.1 Allgemeine Vorgehensweise	21
3.2 Bewertungsstufe 1: Bewertung der Relevanz öffentlicher Forschungsförderung	21
3.2.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten	22
3.2.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)	24
3.3 Bewertungsstufe 2: Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes	27
3.3.1 Kriterium 3: Marktpotenziale	28
3.3.2 Allgemeine Hinweise zu den nachfolgenden Kriterien 4 bis 6	33
3.3.3 Kriterium 4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen	34
3.3.4 Kriterium 5: Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz	37
3.3.5 Kriterium 6: Kosteneffizienz	40
3.3.6 Kriterium 7: Inländische Wertschöpfung	46
3.3.7 Kriterium 8: Stand und Trends von Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich	51
3.3.8 Kriterium 9: Gesellschaftliche Akzeptanz	58
3.3.9 Kriterium 10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit	63
3.3.10 Kriterium 11: Abhängigkeit von Infrastrukturen	65
3.3.11 Kriterium 12: Systemkompatibilität	67
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
<b>4 Anhang</b>	<b>77</b>
4.1 Festlegung von Referenztechnologien bzw. eines Mixes an Referenztechnologien	77
4.2 Bandbreite in den nationalen sowie internationalen Szenarien	81
4.3 Umrechnung von Angaben auf einer Preisbasis in US-Dollar auf die Preisbasis EURO2015	85

## Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

### Abkürzungen

B.A.U.	Business-as-usual
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAGR	Compound annual growth rate
CCS	Carbon (Dioxide) Capture and Storage
DE	Deutschland
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
nDS	n degree scenario
DSM	Demand-Side-Management (Lastmanagement)
E6-9	Workshops E6 – E9
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EKFZ	Elektrofahrzeug
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
GLR	Gewichtetes Länderrisiko
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
IEA	International Energy Agency
INT	international
ISI	Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung
ITK	Informations- und Telekommunikationstechnik
IWES	Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
IZES	IZES gGmbH – Institut für Zukunftssysteme
JRC	Joint Research Centre (der EU)
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KRA	Kumulierter Rohstoffaufwand
KS	Klimaschutz
Max	Maximum
Min	Minimum
MP	Marktpotenzial
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
o. g.	oben genannt
PTJ	Projekträger Jülich
PV	Photovoltaik
PVA	Photovoltaikanlage
SINTEG	Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende
T	Technologie
TB	Technologiebereich
TF	Technologiefeld
THG	Treibhausgas
THGND	Treibhausgas-neutrales Deutschland (UBA-Studie)
TRL	Technology Readiness Level
UBA	Umweltbundesamt
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
V2G	Vehicle-to-Grid
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WEO	World Energy Organisation
WKA	Windkraftanlage
WI	Wuppertal Institut für Klima Umwelt, Energie gGmbH

## Einheiten und Symbole

%	Prozent
€	Euro
°C	Grad Celsius
a	annum
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
GJ	Gigajoule
km/h	Kilometer pro Stunde
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NMVOC	Flüchtige organische Nicht-Methan-Verbindungen
NO <sub>x</sub>	Allgemeine Stickoxide
PJ/a	Petajoule per annum
PM	Feinstaubpartikel
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
t	Tonnen
TW	Terawatt
TWh	Terawattstunden

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1	Ausgewählte Langfrist-Energieszenarien-----	14
Tab. 2-1	Techno-ökonomische Kenndaten der Technologie Y im Technologiefeld X (Beispielhafte Parameterauswahl für Offshore-Windkraftanlagen, an eigenes Technologiefeld anzupassen) -----	17
Tab. 3-1	Vorlaufzeiten bis zur Kommerzialisierung von Technologiefeld X-----	22
Tab. 3-2	Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes X-----	25
Tab. 3-3	Bewertung technischer und wirtschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsrisiken in Zusammenhang mit Technologiefeld X -----	26
Tab. 3-4	Einsatz kritischer Rohstoffe im Technologiefeld X -----	27
Tab. 3-5	Bandbreite des globalen Technologieeinsatzes für das Technologiefeld X (absolute Werte aller installierten Anlagen im jeweiligen Stichjahr) -----	30
Tab. 3-6	Analyse des globalen Marktpotenzials für das Technologiefeld X -----	30
Tab. 3-7	Bandbreite des nationalen Technologieeinsatzes für das Technologiefeld X (absolute Werte aller installierten Anlagen im jeweiligen Stichjahr) -----	31
Tab. 3-8	Analyse des nationalen Marktpotenzials für das Technologiefeld X-----	31
Tab. 3-9	Ermittlung Wachstumsrate für das Technologiefeld X -----	32
Tab. 3-10	Jährlich vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (jeweils in Spannbreiten) -----	35
Tab. 3-11	Weitere wichtige Emissionen, die jährlich durch Technologiefeld X in Deutschland vermieden (oder ggf. zusätzlich verursacht) werden (jeweils in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr) -----	36
Tab. 3-12	Jährlich vermiedener Primärenergieeinsatz durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr)-----	38
Tab. 3-13	Jährlich vermiedener oder zusätzlicher Ressourceneinsatz durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr)-----	39
Tab. 3-14	Alternativabschätzung des jährlich vermiedenen oder zusätzlichen Ressourceneinsatzes durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall-----	40
Tab. 3-15	Jährliche direkte und indirekte Kosteneinsparpotenziale (oder Mehrkosten) durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (nicht abgezinst auf ein Basisjahr; für alle installierten Anlagen im Jahr) -----	41
Tab. 3-16	Jährlich vermiedene (oder ggf. zusätzlich verursachte) externe Kosten in Deutschland durch Technologiefeld X (immer in Differenz zur Referenztechnologie)-----	45
Tab. 3-17	Analyse des bisherigen Marktanteils für das Technologiefeld X-----	48
Tab. 3-18	Globales und nationales Marktpotenzial Deutschlands für Technologiefeld X-----	49
Tab. 3-19	Inländische Wertschöpfung basierend auf Technologiefeld X hinsichtlich des globalen und des nationalen Absatzmarktes -----	50
Tab. 3-20	Internationale Aufstellung der deutschen Industrie hinsichtlich des Technologiefeldes X -----	52
Tab. 3-21	Bewertung des Standes von Forschung und Entwicklung für das Technologiefeld X – Input-Orientierung -----	53
Tab. 3-22	Bewertung von Stand und Trends der Forschung und Entwicklung für das Technologiefeld X – Output-Orientierung-----	55
Tab. 3-23	Bewertungsraster für die Akzeptanz von Technologiefeld X zum Status Quo (2015)-----	61



Tab. 3-24	Indikatoren zur Bewertung der Pfadabhängigkeit und Reaktionszeit des Technologiefeldes X -----	64
Tab. 3-25	Abhängigkeit des Technologiefeldes X von Infrastrukturen-----	65
Tab. 4-1	Daten des Aktuelle-Maßnahmen-Szenarios -----	78
Tab. 4-2	CO <sub>2</sub> -Zertifikatepreise-----	79
Tab. 4-3	Netto-Stromerzeugung im AMS-Szenario -----	80
Tab. 4-4	THG-Emissionen, Primärenergiefaktor und Strompreise für konventionellen Strom, der durch erneuerbaren Strom verdrängt wird -----	80
Tab. 4-5	Strompreisszenarien -----	80
Tab. 4-6	Bandbreite (Minimum und Maximum) hinsichtlich des Technologieeinsatzes über alle analysierten deutschen Klimaschutzszenarien (-80 % und -95 %-„Reduktionswelt“) -----	82
Tab. 4-7	Bandbreite (Minimum und Maximum) hinsichtlich des Technologieeinsatzes über alle analysierten internationalen Klimaschutzszenarien („Reduktionswelt“ bzgl. „2 °C-Ziel“ und „besser 2 C°-Ziel“) -----	84
Tab. 4-8	Umrechnung der Preisbasis von US-Dollar zu Euro 2015 -----	86

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Vorgehensweise bei der Erstellung der Technologieberichte -----	15
Abb. 2-2	Systematik der Technologie-Klassifizierung im Vorhaben und Zusammenhang zum Technologiebericht-----	16
Abb. 3-1	Kriterienraster mit 12 Einzelkriterien -----	21
Abb. 3-2	Betrachtungsebenen der Akzeptanz-----	60



# 1 Ziele und Ablauf der Technologiebewertung

## 1.1 Ziele der Technologiebewertung

Die ambitionierten Ziele der deutschen Energiewende können nur mit einem Mix aus unterschiedlichen Technologien erreicht werden. Von herausragender Bedeutung sind hierbei gemäß der im Energiekonzept der Bundesregierung definierten Ziele solche Technologien, die den Anteil erneuerbarer Energien fördern sowie einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz leisten.

Eine Reihe der für die Zielerreichung erforderlichen Technologien sind heute bekannt, viele davon sind schon weitestgehend entwickelt und marktreif oder können bei geeigneten energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen zur Marktdurchdringung gelangen. Darüber hinaus bestehen aber zentrale Erfordernisse bei der Weiterentwicklung von Technologien, bei der Bereitstellung von komplementären, die Markteinführung respektive -durchdringung ermöglichenden Technologien (z. B. Netze und Speicher) sowie dem Schließen von Technologielücken.

Zuletzt fehlte ein aktueller Überblick über den Entwicklungsstatus, die Perspektiven in den unterschiedlichen relevanten Technologiebereichen, möglichen Forschungsbedarf und eine vergleichende Gegenüberstellung technologischer Lösungsansätze. Hier setzt das Forschungsprojekt *Technologien für die Energiewende* (kurz: *TF\_Energiewende*) mit einer auf Deutschland bezogenen Analyse an, die für sieben Technologiebereiche 31 Technologiefelder aus dem Energiesektor den Status Quo (2015/2016) sowie eine mögliche Entwicklung bis 2030 mit Ausblick auf 2050 berücksichtigt. Als Technologiebereiche werden betrachtet:

- 1 | Erneuerbare Energien
- 2 | Konventionelle Kraftwerke
- 3 | Infrastruktur
- 4 | Sektorkopplung
- 5 | Energie- und ressourceneffiziente Gebäude
- 6 | Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie
- 7 | Integrative Aspekte

Im Technologiebereich 7 werden dabei 4 übergreifende „Technologiefelder“ zusammengefasst: energiewirtschaftliche Aspekte der Elektromobilität (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie Hybrid-Oberleitungs-Lkw), Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) sowie Systemintegration, -innovation und -transformation.

Das Vorhaben baut auf der Untersuchung „Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für die Forschung und Entwicklung“ auf, in der vor rund zehn Jahren von Fraunhofer ISI und Partnern im Auftrag des BMWi Stand von Forschung und Entwicklung sowie Forschungsbedarf für zum damaligen Zeitpunkt zentrale Technologiefelder in Deutschland analysiert wurden (Wietschel et al. 2010). Aufgrund der inzwischen erfolgten Orientierung von Energiepolitik und -forschung an den Zielen der Energiewende müssen nun erheblich mehr Technologien berücksichtigt werden. Zudem müssen auch für die bisher betrachteten Technologien Entwicklungsstatus und -perspektiven aktualisiert werden. Aber auch die Bewertungskriterien bedürfen ei-

ner Erweiterung, um eine systematische multikriterielle vergleichende Analyse und Bewertung unter Einschluss technischer, techno-ökonomischer und nicht-technischer Aspekte zu ermöglichen. So stehen z. B. zunehmend Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz von Technologien oder der Bedeutung der Energiewende hinsichtlich des Exportpotenzials der deutschen Industrie im Vordergrund.

Schließlich müssen auch die zunehmend ambitionierten klimapolitischen Vorgaben, die zuletzt auf der Klimakonferenz im November 2015 in Paris bekräftigt und verstärkt wurden, in die Bewertung mit einbezogen werden. So bedeutet die Einhaltung eines „1,5 Grad“-Zieles für Deutschland eine Reduzierung der energiebedingten Treibhausgasemissionen auf nahezu 0 bis 2050 (siehe dazu auch DLR et al. 2012:149 sowie Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2015:36), wodurch sich andere Technologieperspektiven als bei einer 80 %igen Reduktion ergeben. Dementsprechend werden für die Technologiebewertung unterschiedliche Langfrist-Energieszenarien, sowohl für Deutschland als auch international, zugrunde gelegt (siehe Kapitel 1.2).

Die Ergebnisse des Vorhabens sind aufgrund der thematischen Ausrichtung und ihrer Aktualität ein wichtiger Beitrag zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik und liefern wichtige Grundlagen zur Erstellung des 7. Energieforschungsprogramms. Aufgrund seiner Bedeutung für die Energieforschung ist das Projekt daher vom BMWi als strategisches Leitprojekt eingestuft worden.

Basierend auf den dargestellten Zielen wurde zu Beginn des Forschungsvorhabens ein angepasstes Kriterienraster entwickelt, das in Kapitel 3 dargestellt wird. Die vorgeschlagenen 12 Kriterien stellen für die am Vorhaben beteiligten Institute einen Leitfaden zum Vorgehen bei der Bewertung der jeweiligen Technologiefelder dar.

Die Technologiebewertung ist eingebettet in einen Bericht pro Technologiefeld („Technologiebericht“), der mit der Beschreibung der betrachteten Technologien und dem Stand von Forschung & Entwicklung (F&E) beginnt und mit F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand endet (siehe Kapitel 2). Alle Technologieberichte werden vor Veröffentlichung von Forschungseinrichtungen mit entsprechender Expertise qualitätsgeprüft, wobei das Kriterienraster auch als Grundlage zur Beurteilung der vorgelegten Entwürfe dient. Die Veröffentlichung des Kriterienrasters ist demnach als Ergänzung zu den umfangreichen Technologieberichten zu verstehen und macht die darin vorgenommene Bewertung transparent.

## **1.2 Zugrunde gelegte Energieszenarien**

Für die Technologiebewertung werden unterschiedliche Langfrist-Energieszenarien, sowohl für Deutschland als auch international, zugrunde gelegt. Dies betrifft z. B. die Ableitung von Marktpotenzialen, die Kostenentwicklung entlang von Lernkurven oder die Abschätzung der vermiedenen Treibhausgase im Zeitablauf.

Die Szenarien wurden in einem Workshop mit verschiedenen Szenario-Experten der Projektpartner diskutiert und festgelegt. Sie beschreiben mögliche Entwicklungen des Energiesystems sowohl für Deutschland als auch international, die im Einklang mit weltweit anerkannten Klimareduktionszielen aber auch künftigen Exportmöglichkeiten stehen. Die ausgewählten Szenarien sollen für die Bewertung in allen Technologiefeldern die Grundlage bilden, können aber, wo für die Vertiefung oder aufgrund unzureichender Daten notwendig, durch weitere technologiespezifische

Szenarien ergänzt werden. In diesem Fall sind die Quellen zu benennen und Seitenzahlen zu den relevanten Informationen anzugeben.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anteile der Technologien in den verschiedenen Szenarien wird jedoch kein einzelnes Szenario vorgegeben, sondern für jedes ausgewiesene Technologiefeld wird eine Bandbreite (Minimum und Maximum) über alle analysierten Szenarien dargestellt. Für Deutschland wird zwischen einer -80 % und einer -95 %-„Reduktionswelt“ unterschieden. Da auf internationaler Ebene bisher kein Szenario ein mögliches 1,5 °C-Ziel abbildet, wird in diesem Fall zwischen „2 °C-Ziel“ und „besser 2 °C-Ziel“ unterschieden. Hier gibt es auch nur ein einziges Szenario für „besser 2 °C“, so dass hier nicht in Min/Max unterschieden wird. Zudem enden die meisten internationalen Szenarien in 2040.

Entsprechend bedeuten im Folgenden

- Szenarienbereich DE\_80%: Bandbreite von Szenarien, die eine -80 %-Reduktionswelt abbilden
- Szenarienbereich DE\_95%: Bandbreite von Szenarien, die eine -95 %-Reduktionswelt abbilden
- Szenarienbereich INT\_2°C: Bandbreite von Szenarien, die das 2 °C-Ziel abbilden
- Szenarienbereich INT\_besser\_2°C : Bandbreite von Szenarien, die das Ziel einer Erderwärmung um weniger als 2 °C abbilden

Die Bandbreite der analysierten Szenarien wird in Anhang 4.2 wiedergegeben. Sie basiert auf den in Tab. 1-1 dargestellten nationalen und internationalen Studien:

**Tab. 1-1     Ausgewählte Langfrist-Energieszenarien**

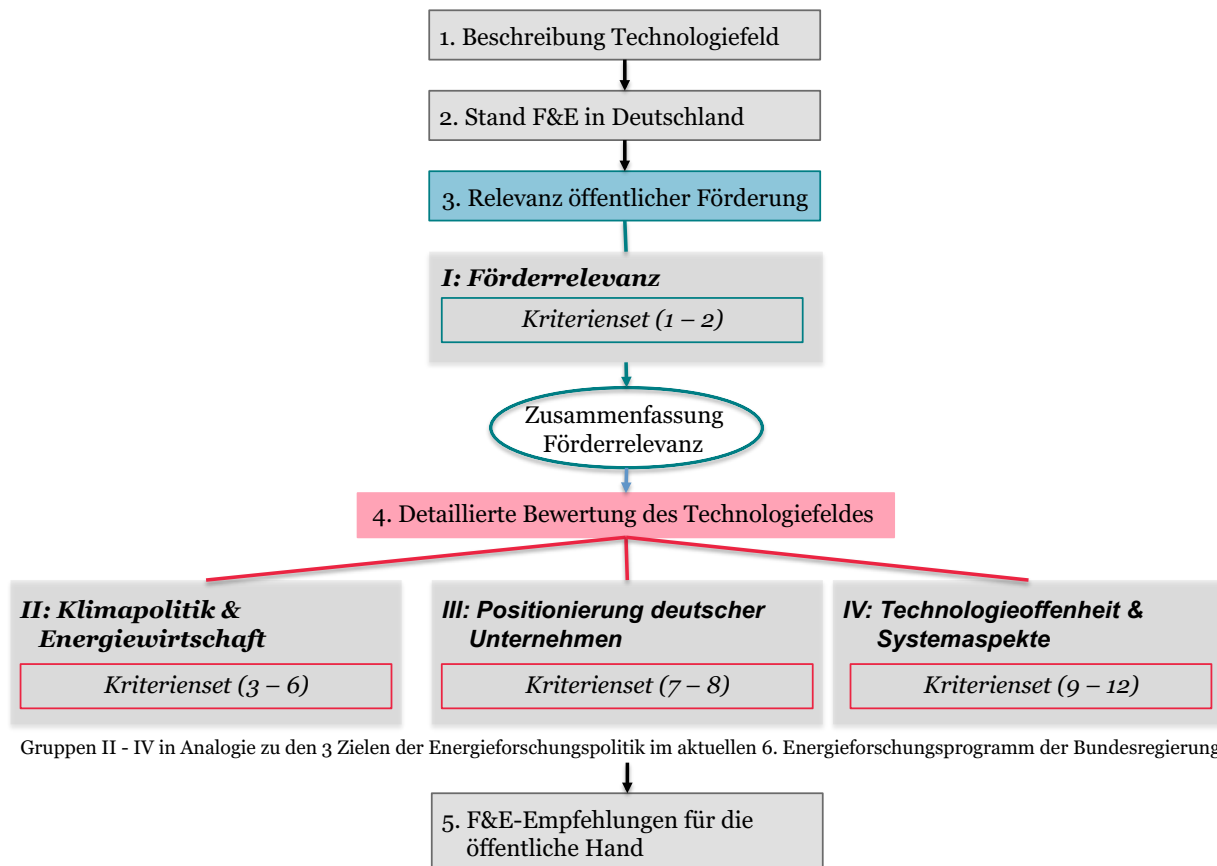
<b>Autoren (Jahr)</b>	<b>Titel</b>	<b>Szenarien</b>
Deutschland		
DLR et al. (2012)	BMU Leitstudie 2011	Szenarien A / A', B / C / THG95
UBA (2014b)	Treibhausgasneutrales Deutschland	THGND 2050
Prognos et al. (2014)	Entwicklung der Energiemärkte	Zielszenario
Fraunhofer IWES et al. (2015)	Interaktion EE-Strom, Wärme, Verkehr	Sektorübergreifendes Zielszenario
Öko und ISI (2015)	Klimaschutzszenario 2050: 2. Endbericht	KS 80 / KS 95
Fraunhofer ISE (2013)	Energiesystem Deutschland 2050	ReMod-D 2050
ÜNB	Netzentwicklungsplan Strom / Gas 2030	Szenarien A / B / C
International		
IEA (2016)	World Energy Outlook 2016	New Policies, Current Policies (BAU), 450 Scenario (2 °C)
IEA (2016)	Energy Technology Perspectives 2016	4DS, 6DS (BAU), 2DS (2 °C)
Greenpeace International et al. (2015)	Energy [R]evolution	Reference Case (entspricht Current Policies aus WEO 2014), Basic E[R] (< 2 °C), Advanced E[R] (<< 2 °C)
World Energy Council (2016)	World Energy Scenarios 2016	Modern Jazz (marktbasiert, > 2°C), Unfinished Symphony (koordinierte staatliche Politiken, ca. 2 °C), Hard Rock (keine/ kaum internationale Koordination, > 2 °C)

Quelle: IZES

## 2 Inhalte der Technologieberichte

### 2.1 Überblick

Die generelle Vorgehensweise bei der Erstellung der Technologieberichte ist in Abb. 2-1 dargestellt.

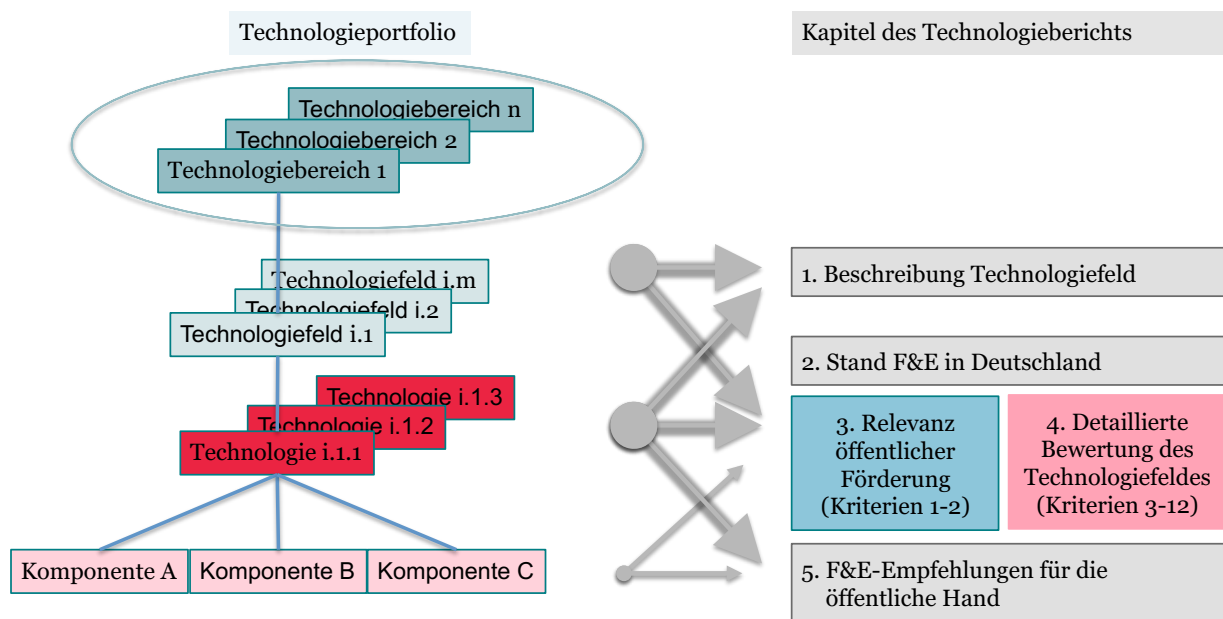


**Abb. 2-1 Vorgehensweise bei der Erstellung der Technologieberichte**

Quelle: Wuppertal Institut

Die Analyse des F&E-Bedarfs und die Bewertung entlang der 12 Kriterien erfolgt in der Regel auf der Ebene der Technologiefelder. Enthält ein Technologiefeld Technologien mit sehr unterschiedlichem Entwicklungsstand, kann auch auf Technologieebene bewertet werden. Technologieabhängig kann es ggf. auch sinnvoll sein, die Technologie nach Teilaspekten differenziert zu betrachten. Den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Technologieebenen und den Kapiteln des Bewertungsberichts zeigt Abb. 2-2.

Als Basisjahr für ökonomische Werte wird das Jahr 2015 gewählt. Literaturangaben, die sich auf andere Jahre beziehen, sollten ggf. umgerechnet werden (vgl. hierzu Anhang 4.3).



**Abb. 2-2 Systematik der Technologie-Klassifizierung im Vorhaben und Zusammenhang zum Technologiebericht**

Quelle: Wuppertal Institut

Die Berichte sind nach folgenden Schritten aufgebaut:

## 2.2 Schritt 1: Beschreibung des Technologiefeldes

Im 1. Schritt werden die im Technologieportfolio festgelegten Technologiefelder im Detail betrachtet. Dabei werden zunächst das Technologiefeld (z. B. Geothermie) und die ihnen zugeordneten Technologien (z. B. zur Stromerzeugung und zur Wärmeenergieerzeugung) beschrieben. Die wichtigsten techno-ökonomischen Kenndaten der Technologien sollten in einer tabellarischen Übersicht zusammengefasst werden (siehe Beispielstruktur in Tab. 2-1).

Die Technologien, die ggf. nicht analysiert werden, sollten ebenfalls aufgelistet werden, ergänzt um eine kurze Begründung (z. B. kein Bedarf an F&E mehr, da die Technologie schon so weit entwickelt ist, dass die Marktpenetration nur noch eine Frage der Unternehmensstrategie ist).



**Tab. 2-1 Techno-ökonomische Kenndaten der Technologie Y im Technologiefeld X (Beispielhafte Parameterauswahl für Offshore-Windkraftanlagen, an eigenes Technologiefeld anzupassen)**

	Einheit	Heute	2020	2030	2040	2050
Durchschnittliche Anlagenhöhe	m					
Durchschnittliche Nennleistung	MW					
Volllaststunden	h					
Lebensdauer	a					
Investitionskosten	€/kW					
Variable Betriebskosten	€/kWh					
Stromgestehungskosten	€/kWh					

Quelle: Wietschel et al. 2015

## 2.3 Schritt 2: Aktueller Entwicklungsstand und zukünftiger Entwicklungsbedarf der einzelnen Technologien in einem Technologiefeld

Im zweiten Schritt wird der aktuelle Entwicklungsstand und zukünftiger Entwicklungsbedarf der betrachteten Technologien im jeweiligen Technologiefeld dargestellt.

Für diejenigen Technologien, die schon in der Vorgängerstudie „Energietechnologien 2050“ bewertet wurden, erfolgt zudem ein Rückblick auf die letzten zehn Jahre. Hier werden insbesondere neue technologische Entwicklungen der vergangenen Jahre, die bereits auf die getroffenen energiepolitischen Leitentscheidungen zurückzuführen sind, identifiziert, diskutiert und bewertet. Diese Analyse orientiert sich an folgenden Fragestellungen: Welche Fortschritte wurden seit 2005 erzielt? Welche innovativen Entwicklungen zeichnen sich ab und werden aktuell verfolgt? Wie ist das Innovationspotenzial insgesamt zu bewerten? Was befindet sich noch in der Entwicklungspipeline?

Da die Digitalisierung im Zusammenhang mit Energietechnologien immer wichtiger wird, sollte hier auch der digitalisierungsspezifische Forschungsbedarf von Energietechnologien analysiert und skizziert werden. Laut Branchenverband Bitkom ist „die strategische Bedeutung der ITK [Informations- und Telekommunikationstechnik] für die Energiewende unbestritten. ... Wissenschafts- und Industrieverbände sehen dabei die Notwendigkeit, die FuE-Anstrengungen weiter zu forcieren: Digitale Innovationen sind eine tragende Säule der Energiewende.“ (Bitkom 2016). Während eine tiefergehende Analyse von Push- und Pull-Faktoren in diesem Vorhaben nicht möglich ist, sollten zumindest erste Hinweise auf zukünftigen Forschungsbedarf skizziert werden. Demand-Pull bedeutet dabei, inwieweit eine Technologie auf ITK angewiesen ist (z. B. Sicherung kritischer Infrastrukturen oder digitale Einbindung der Endverbraucher). Technology-Push zeigt auf, wie ITK-Innovationen die Energieversorgung beeinflussen könnten (z. B. Big Data Analysis, Citizen Data Science).

Digitalisierungsaspekte werden nicht nur technologiespezifisch, sondern zusätzlich auch in Technologiebereich 7 durch Fraunhofer IWES als übergreifendes Querschnittsthema behandelt.

## 2.4 Schritt 3: Relevanz der öffentlichen Förderung

Zur Bewertung des Forschungsbedarfs der einzelnen Technologiefelder wird anhand der in Kapitel 3.2 beschriebenen Kriterien 1 und 2 zunächst untersucht, ob eine öffentliche Forschungsförderung tatsächlich gerechtfertigt (notwendig bzw. sinnvoll) ist. Im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWi 2011) wird der spezifische Bedarf für eine gezielte staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung aus den „Marktdefiziten“ begründet. Diese sind im Energiebereich insbesondere begründet durch

- die *langen Zeithorizonte* energietechnischer Entwicklungen von der Erfindung bis zu einer kommerziellen Nutzung, die z. T. weit außerhalb der betriebswirtschaftlich üblichen Planungs- und Kalkulationsfristen liegen;
- die hohen und oft kaum zu übersehenden *technologischen und ökonomischen Risiken* von Forschung und Entwicklung ausgewählter Energietechnologien, die vom Markt nicht abgedeckt werden können sowie
- den strategischen Stellenwert des Faktors „Energie“ für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

Hinzu kommen auch industriepolitische Erwägungen:

- Eine technologische Weiterentwicklung hin zu geringeren Emissionen und Energiebedarf verlangt *Vorreiter*. Die sind oftmals auf Unterstützung durch die Förderung von Forschung und Entwicklung angewiesen.
- Ein *Leitmarkt* kann die Entwicklung von Technologien stark beeinflussen. Eine akkurate Kenntnis potenzieller Leitmärkte ist deswegen von hoher Relevanz. Sofern Deutschland ein Teil von diesen ist, kann dies auch deren gezielte Ausgestaltung ermöglichen.
- Mit entsprechendem technologischen Vorsprung ist eine *Marktführerschaft* eher erreichbar. Insofern leistet eine erfolgreich funktionierende Forschungs- und Entwicklungslandschaft hierzu einen wichtigen Beitrag.

Für diejenigen Technologien, für die schon in der Vorgängerstudie „Energietechnologien 2050“ Bedarf an Forschungsförderung festgestellt wurde, wird zudem analysiert, ob der seinerzeit festgestellte Förderbedarf weiterhin besteht.

## 2.5 Schritt 4: Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes

Neben der grundsätzlichen Bewertung der Förderwürdigkeit werden für eine spätere Priorisierung von Technologiefeldern im Rahmen der Forschungsförderung weitere Kriterien benötigt. Die in Kapitel 3.3 beschriebenen Kriterien 3 bis 12 orientieren sich an den übergeordneten politischen Zielsetzungen für die Forschung und Entwicklung von Energietechnologien. Sie sind im 6. Energieforschungsprogramm folgendermaßen festgelegt :

## 1. Ziel: Beitrag zur Erfüllung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben

„Das erste und wichtigste Ziel der Energieforschungspolitik ist es, einen Beitrag zur Erfüllung der zahlreichen energiewirtschaftlichen und klimapolitischen *Vorgaben* der Bundesregierung zu leisten. Damit bekommen Bereiche und Technologien eine Priorität, die dazu beitragen, die Energieeffizienz in dem angestrebten Umfang zu verbessern und den Ausbau der erneuerbaren Energien so voranzutreiben, dass die vorgegebenen Marktanteile der erneuerbaren Energien erreicht werden können. Aufgabe der Förderpolitik ist es insbesondere, diese Technologien kostengünstiger zu machen und dadurch den Weg für eine schnelle Marktdurchdringung zu ebnen. Zudem legt die Bundesregierung Wert auf die Umwelt- und Naturverträglichkeit der Energienutzung.“ (BMWi 2011)

## 2. Ziel: Ausbau der führenden Position deutscher Unternehmen

„Das zweite Ziel der Energieforschungspolitik ist es, die führende Position deutscher Unternehmen auf dem Gebiet moderner Energietechnologien auszubauen. Dieses Ziel gewinnt in dem Umfang an Bedeutung, in dem sich die Gewichte der Entwicklung auf den Energiemärkten verschieben. Hier sind die Trends eindeutig: Die Märkte für Energietechnologien in Deutschland haben Grenzen. Sie wachsen im Rest der Welt, vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, und dort zum Teil mit einer gewaltigen Dynamik. Durch eine gezielte Ausrichtung der Energieforschungs- und Technologiepolitik auf die weltweite Entwicklung ergeben sich neue Möglichkeiten zur Flankierung der internationalen Klimaschutzpolitik der Bundesregierung sowie zur Unterstützung der Wachstums- und Beschäftigungspolitik in Deutschland.“ (ebd.)

## 3. Ziel: Sicherung technologischer Optionen

„Das dritte Ziel der Energieforschungspolitik ist es, technologische Optionen zu sichern und zu erweitern. Das hilft, die Flexibilität der Energieversorgung Deutschlands zu verbessern. Der grundsätzliche Zugriff auf viele Optionen gibt Wirtschaft und Verbrauchern noch am ehesten die Möglichkeit, sich an Veränderungen und Neubewertungen anzupassen. Nichts als ein weiter Rückblick auf die Energiegeschichte Deutschlands seit 1950 belegt deutlicher, dass energiepolitische Rahmenbedingungen immer zeitgemäß gesetzt werden und mit ihrer Zeit auch wieder vergehen. Offenheit der Zukunft ist eine fundamentale Gegebenheit allen politischen Handelns. Die Bundesregierung bekennt sich in ihrem Energiekonzept daher ausdrücklich zu einer grundsätzlich technologieoffenen Energiepolitik. Unter dieser Perspektive will die Bundesregierung ihre Technologieförderung auch in Zukunft auf breiter Front fortsetzen und so die notwendige Voraussetzung für eine stetige Erneuerung schaffen. Damit leistet die Energieforschungspolitik der Bundesregierung einen wichtigen Beitrag zu einer gesamtwirtschaftlichen Risikovorsorge.“ (ebd.)

## 2.6 Schritt 5: F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand

Basierend auf der in den Schritten 2 und 3 erfolgten Beschreibung und Analyse des Technologiefeldes werden schließlich Handlungsempfehlungen für eine öffentliche

F&E-Förderung im entsprechenden Technologiefeld herausgearbeitet, die als Basis zur Festlegung der Eckpunkte des kommenden Energieforschungsprogramms dienen können. Zum einen wird zusammengefasst, wie das Technologiefeld aus Sicht der öffentlichen Förderung zu bewerten ist. Zum anderen werden die aus der vorangegangenen Bewertung hervorgegangenen wichtigen F&E-Themen genannt.

### 3 Beschreibung des Kriterienrasters

#### 3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Abb. 3-1 zeigt eine Übersicht über das entwickelte Kriterienraster, das sich aus den beiden dargestellten Stufen „Relevanz öffentlicher Förderung“ und „Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes“ zusammensetzt. Die einzelnen Kriterien und die vorgeschlagene Vorgehensweise werden nachfolgend detailliert beschrieben. Für jedes Kriterium wird am Anfang des Kapitels eine Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte gegeben. Am Ende erfolgt eine (willkürlich) gewählte Beispielbewertung (in der Regel bezogen auf Technologien außerhalb des Projektkontextes).

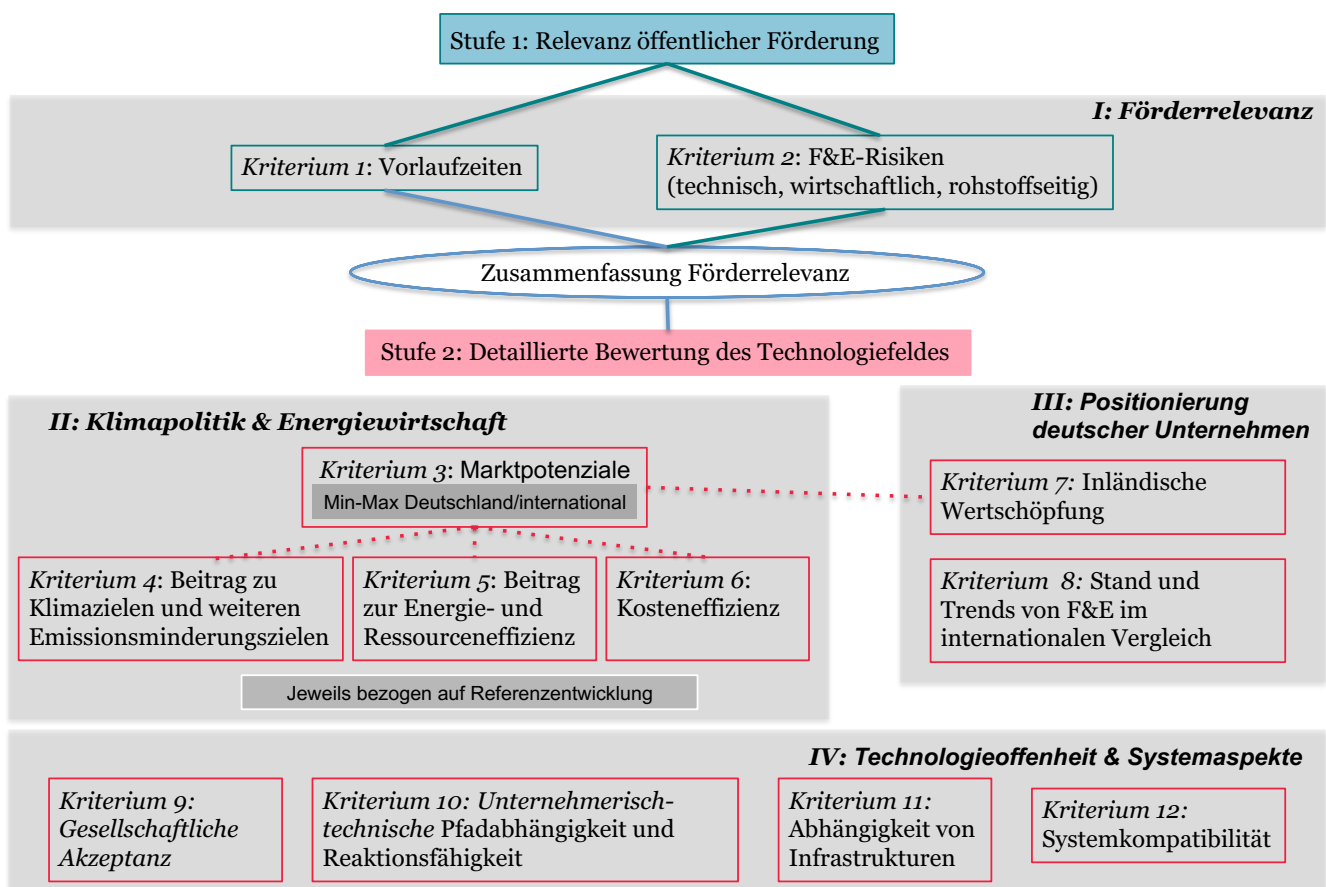


Abb. 3-1 Kriterienraster mit 12 Einzelkriterien

Quelle: Wuppertal Institut

#### 3.2 Bewertungsstufe 1: Bewertung der Relevanz öffentlicher Forschungsförderung

Die Überprüfung der generellen Relevanz öffentlicher Förderung erfolgt anhand der folgenden beiden Kriterien:

- **Kriterium 1:** Vorlaufzeiten
- **Kriterium 2:** Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)

### 3.2.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten

Definition des Kriteriums	Mit diesem Kriterium wird die Länge der Vorlaufzeiten, d. h. die Dauer bis zur Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage für ein Technologiefeld, bewertet.
Ziel des Kriteriums	Da der Nachweis langer Vorlaufzeiten eine der Grundvoraussetzungen für eine öffentliche Förderung ist, ist dieses Kriterium zentral für die Bewertung hinsichtlich des Förderbedarfs.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird qualitativ beurteilt. Die Einschätzung erfolgt auf Basis des eigenen Expertenwissens oder zitierter Literatur und wird im Begleittext begründet.
Alternatives Vorgehen	Keines

Gemäß des Energieforschungsprogramms sind lange Vorlaufzeiten ausschlaggebend für eine öffentliche Forschungsförderung. Daher sind die Vorlaufzeiten, d. h. die Dauer bis zur Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage für ein Technologiefeld, einzustufen (Tab. 3-1). Eine kommerzielle Anlage ist dabei eine Anlage, die gekauft und betrieben werden kann. Hierbei ist zu spezifizieren, bis wann die Technologie als wettbewerbsfähig eingestuft werden kann (sie hat dann den TRL 9 erreicht, siehe zur Definition des TRL das nächste Kriterium). Dies hängt natürlich von den Rahmenbedingungen und den politischen Zielsetzungen ab. Dies soll dadurch zum Ausdruck gebracht werden, dass die Bewertung anhand der beiden unterschiedlichen klimapolitischen Szenarienwelten und der Annahme einer generellen öffentlichen Förderung durchgeführt wird. Wie bei allen Kriterien soll eine kurze Begründung geliefert und auf vorhandene Studien verwiesen werden.

Gibt es große Unterschiede bezüglich der Technologien innerhalb des betrachteten Technologiefeldes, sollte auf Technologieebene bewertet werden. Eine Differenzierung auf Komponentenebene erscheint dagegen als nicht sinnvoll.

**Tab. 3-1 Vorlaufzeiten bis zur Kommerzialisierung von Technologiefeld X**

Abhängig von den verschiedenen Szenarienentwicklungen und öffentlicher Förderung ist mit der Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage in Deutschland zu rechnen ...					
Szenarienbereich DE_80%	bis 2020	<input type="checkbox"/>	bis 2030	<input type="checkbox"/>	bis 2040 <input type="checkbox"/> bis 2050 <input type="checkbox"/> nach 2050 <input type="checkbox"/>
Szenarienbereich DE_95%	bis 2020	<input type="checkbox"/>	bis 2030 <input type="checkbox"/>	bis 2040 <input type="checkbox"/>	bis 2050 <input type="checkbox"/> nach 2050 <input type="checkbox"/>
Falls nicht auf Ebene des Technologiefeldes, sondern einzelne, relevante Technologien innerhalb des Technologiefeldes bewertet werden sollen, bitte diese Tabelle jeweils kopieren.					

**Bewertungsbeispiel Photovoltaik**

Bei der Photovoltaik (PV) kann es Sinn machen, in folgende Technologien zu unterscheiden:

- Kristallines Silizium
- Dünnschichttechnologie
- Konzentrierende PV
- Organische PV

Da sie sich alle in einem unterschiedlichen Entwicklungsstadium befinden, werden die Vorlaufzeiten getrennt angegeben. Kristallines Silizium und Dünnschichttechnologie sind heute bereits kommerziell verfügbar. Die Begründung für die Einordnung von Organischer PV ist wie folgt: ... . Konzentrierende PV wird aufgrund der Strahlungsbedingungen in Deutschland nicht angewandt werden.

**Tabellen-Beispiel Vorlaufzeiten bis zur Kommerzialisierung von Technologien im Technologiefeld Photovoltaik**

Abhängig von den verschiedenen Szenarienentwicklungen ist mit der Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage in Deutschland zu rechnen ...

**Konzentrierende PV**

Szenarienbereich DE_80%	bis 2020 <input type="checkbox"/>	bis 2030 <input type="checkbox"/>	bis 2040 <input type="checkbox"/>	bis 2050 <input type="checkbox"/>	nach 2050 <input type="checkbox"/>
Szenarienbereich DE_95%	bis 2020 <input type="checkbox"/>	bis 2030 <input type="checkbox"/>	bis 2040 <input type="checkbox"/>	bis 2050 <input type="checkbox"/>	nach 2050 <input type="checkbox"/>

**Organische PV**

Szenarienbereich DE_80%	bis 2020 <input type="checkbox"/>	bis 2030 <input type="checkbox"/>	bis 2040 <input checked="" type="checkbox"/>	bis 2050 <input type="checkbox"/>	nach 2050 <input type="checkbox"/>
Szenarienbereich DE_95%	bis 2020 <input type="checkbox"/>	bis 2030 <input checked="" type="checkbox"/>	bis 2040 <input type="checkbox"/>	bis 2050 <input type="checkbox"/>	nach 2050 <input type="checkbox"/>

### 3.2.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)

Definition des Kriteriums	Mit diesem Kriterium wird zunächst das Entwicklungsstadium des Technologiefeldes eingeordnet. Anschließend werden technische und wirtschaftliche F&E-Risiken sowie Rohstoffrisiken bewertet.
Ziel des Kriteriums	Da der Nachweis hoher technologischer und ökonomischer Risiken von F&E eine der Grundvoraussetzungen für eine öffentliche Förderung ist, ist dieses Kriterium zentral für die Bewertung hinsichtlich des Förderbedarfs. Hinsichtlich der möglichen mittel- bis langfristigen Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen ist es zudem vor dem Hintergrund der Rohstoffstrategie Deutschlands wichtig, Risiken aus mangelnder derzeitiger Rezyklierbarkeit oder mangelnder Substitutionsmöglichkeiten zu betrachten.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland, Risiken in Abhängigkeit von der technologischen Reife
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	TRL-Klassifizierung: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Technologisches und wirtschaftliches Risiko: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Rohstoffrisiko: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird qualitativ beurteilt. Die Einschätzung erfolgt auf Basis des eigenen Expertenwissens oder zitierter Literatur und wird im Begleittext begründet.
Alternatives Vorgehen	Keines

#### Teilkriterium 2.1 Entwicklungsstadium einer Technologie

Die Forschungs- und Entwicklungsrisiken eines Technologiefeldes sind u. a. abhängig von dessen technologischer Reife. Daher ist zunächst zu begründen, welchem Entwicklungsstadium ein Technologiefeld zuzuordnen ist.

Hierzu wird das international verwendete Konzept des Technology Readiness Levels (TRL) verwendet. Dieses unterteilt die verschiedenen Forschungs- und Entwicklungsschritte von der Erfindung bis zum Markt. Basierend auf den Arbeiten der High-Level-Group der EU-Kommission (auch eingeflossen in das EU-Programm Horizon 2020) sowie dessen Übersetzung sowie Anpassungen durch das PTJ wird im Projekt die Einteilung der Technologien vorgenommen (siehe Tab. 3-2).

Es sollte sowohl eine Grobklassifizierung als auch eine Feingliederung nach TRL 1 bis TRL 9 vorgenommen werden. Hierzu wird auch auf die Arbeitshilfe des PTJ verwiesen. (*Anmerkung: Da diese keine öffentlich Quelle ist, wird sie den Partnern zugeschickt*). Es sollte mindestens die Grobklassifizierung ausgefüllt werden.

Gibt es große Unterschiede bezüglich der Technologien innerhalb des betrachteten Technologiefeldes, sollte auf Technologieebene bewertet werden. Dazu kann Tab. 3-2 beliebig erweitert werden. Die ausgewählten Technologien T<sub>1</sub>, ..., T<sub>n</sub> sollten benannt werden.

Technologien, die einen sehr niedrigen TRL haben, können qualitativ abgedeckt werden, ohne jedes einzelne Kriterium nach der Vorgabe des Kriterienrasters durchzugehen (aber mindestens die Grobklassifizierung ist auszufüllen).



**Tab. 3-2     Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes X**

Grobklassifizierung	Feinklassifizierung	TF	T1	T2	T3
Grundlagenforschung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 1 - Grundlegende Prinzipien beobachtet und beschrieben, potentielle Anwendungen denkbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technologieentwicklung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 2 - Beschreibung eines Technologiekonzepts und/oder einer Anwendung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 3 - Grundsätzlicher Funktionsnachweis einzelner Elemente einer Anwendung/Technologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 4 - Grundsätzlicher Funktionsnachweis Technologie/Anwendung im Labor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demonstration		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 5 - Funktionsnachweis in anwendungsrelevanter Umgebung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 6 - Verifikation mittels Demonstrator in anwendungsrelevanter Umgebung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 7 - Prototypentest in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 8 - Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kommerzialisierung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	TRL 9 - Erfolgreicher kommerzieller Systemeinsatz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TF = Technologiefeld, Tx = Technologie Nr. x (bitte angeben)

Die Bewertung sollte auf Ebene des TF erfolgen – bei Bedarf kann auf Technologieebene T1, ... bewertet werden.

## Teilkriterium 2.2 Technisches und wirtschaftliches Forschungs- und Entwicklungsrisiko

Die zukünftigen Eigenschaften von Technologien, die sich derzeit im (oder vor dem) F&E-Stadium befinden, lassen sich grundsätzlich sehr eingeschränkt exakt antizipieren. Daher erfolgt nachfolgend eine qualitative Beschreibung und Einstufung der technischen und wirtschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsrisiken je Technologiefeld (Tab. 3-3). Angenommene Risiken sollten im Begleittext entsprechend benannt werden und eine Quelle angegeben werden (Expertenschätzung, Literatur, ...).

**Tab. 3-3 Bewertung technischer und wirtschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsrisiken in Zusammenhang mit Technologiefeld X**

	sehr gering	gering	eher gering	eher hoch	hoch	sehr hoch
Das <i>technische</i> Forschungs- und Entwicklungsrisiko ist ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das <i>wirtschaftliche</i> Forschungs- und Entwicklungsrisiko ist ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Falls nicht auf Ebene des Technologiefeldes, sondern einzelne, relevante Technologien innerhalb des Technologiefeldes bewertet werden sollen, bitte diese Tabelle jeweils kopieren.

Technologieexogene wirtschaftliche Risiken bestehen u. a. im Zusammenhang mit der Entwicklung der Primärenergieträgerpreise. Die betrifft insbesondere Technologien, die auf fossilen Energieträgern basieren. Da es sich dabei aber nicht um eine technologiefeldspezifische Thematik handelt, sondern um eine energieträgerabhängige, erfolgt in dieser Studie keine Bewertung dieses Aspektes. Es wird hierfür auf die umfangreiche Literatur zur Versorgungssicherheit verwiesen (siehe beispielsweise Breitschopf und Schlotz 2013).

### Teilkriterium 2.3 Rohstoffrisiken

Zusätzlich zu den Risiken, die mit den Energieträgern in Verbindung gebracht werden, finden weitere Rohstoffe, die zum Bau und Betrieb der Anlagen benötigt werden und sich als kritisch erweisen können, Eingang in die Bewertung. In die Bewertung fließen solche Rohstoffe ein, die nach Länderkonzentration (HHI) und gewichtetem Länderrisiko (GLR) nach der Dera-Rohstoffliste 2014 (DERA 2014) als Rohstoffe mit hohem Risiko gewichtet werden.

Zu dieser Gruppe gehören die *Bergwerksförderung* von Antimon, Blei, Bormineralen, Fluorit, Glimmer, Granat, Graphit, Kobalt, Kokskohle, Magnesit, Niob, Palladium, Platin, Pyrophyllit, Quecksilber, Rhodium, Seltenen Erden, Strontiummineralen, Tantal, Vanadium, Wolfram, Wollastonit, Zeolith und Zinn sowie die *Raffinadeproduktion* von Blei, Gallium, Germanium, Indium, Magnesium, Ferroniob, Roheisen, Seltenen Erden, Silizium, Wismut und Zinn.

Die kritischen Rohstoffe sind zu nennen und es sollte angegeben werden, ob Substitutionsmöglichkeiten bestehen oder die Stoffe zumindest rezyklierbar sind. Dies ist hinsichtlich eines möglichen Förderbedarfs wichtig, denn die Rezyklierbarkeit spielt in Bezug auf die Kritikalität vieler Rohstoffe eine wichtige Rolle, ist aber oft bei den jetzigen Produkten nicht gegeben. Studien zur Rohstoffproblematik bei Energietechnologien sind u. a. Tzimas (2016), JRC (2013) und Angerer (2009).

Tab. 3-4 Einsatz kritischer Rohstoffe im Technologiefeld X

Kritischer Rohstoff	Substitutions- möglichkeit	Rezyklierbarkeit
Stoff A		
Stoff B		
Stoff C		
...		

Während hier der direkte Einsatz von Rohstoffen dargestellt wird, kann – optional – in *Kriterium 5* (Energie- und Ressourceneffizienz) der gesamte Rohstoffeinsatz über die Zeit angegeben werden.

### 3.3 Bewertungsstufe 2: Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes

Neben der grundsätzlichen Bewertung der Förderwürdigkeit werden für eine spätere Priorisierung von Technologiefeldern im Rahmen der Forschungsförderung weitere Kriterien benötigt. Die nachfolgenden Kriterien 3 bis 12 werden in Analogie zu den in Kapitel 2.5 genannten drei Zielen des Energieforschungsprogramms abgeleitet und gruppiert:

#### Gruppe I: Klimapolitik & Energiewirtschaft

- *Kriterium 3*: Marktpotenziale
- *Kriterium 4*: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionszielen
- *Kriterium 5*: Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz
- *Kriterium 6*: Kosteneffizienz

#### Gruppe II: Positionierung deutscher Unternehmen

- *Kriterium 7*: Inländische Wertschöpfung
- *Kriterium 8*: Stand und Trends von F&E im internationalen Vergleich

#### Gruppe III: Technologieoffenheit & Systemaspekte

- *Kriterium 9*: Gesellschaftliche Akzeptanz
- *Kriterium 10*: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit
- *Kriterium 11*: Abhängigkeit von Infrastrukturen
- *Kriterium 12*: Systemkompatibilität

Die Bewertung der Technologiefelder auf Basis dieser Kriterien lässt Rückschlüsse hinsichtlich des möglichen Beitrags zur Erreichung der politischen Ziele zu und ermöglicht somit eine Priorisierung in der Forschungsförderung.

## Gruppe I: Klimapolitik & Energiewirtschaft

### 3.3.1 Kriterium 3: Marktpotenziale

Definition des Kriteriums	Abschätzung der künftigen Nachfrage nach einem Technologiefeld (ggf. auch einer einzelnen Technologie) weltweit
Ziel des Kriteriums	Es wird die Gesamtheit der möglichen Absatzmenge bestimmt, welche die Grundlage zur Einschätzung künftiger Absatzmengen im In- und Ausland liefert.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Weltweit und als Auszug Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/>
Bearbeitungspriorität	Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Auf Grundlage von ausgewählten Klimaschutzszenarien (siehe Anhang 4.2) kann das Spektrum des Gesamtmarktes eingeschätzt werden. Für Erzeuger, Speicher und Konversionstechnologien gilt: Von der installierten Leistung, der Arbeit, der Anzahl im Betrachtungsjahr abzuziehen sind die bis zur vorherigen Dekade (bspw. beim Betrachtungsjahr 2030 die Installationen bis 2020) erfolgte Anlageninstallationen / jährliche Erzeugungsmengen. Zu ergänzen sind weiterhin Ersatzmaßnahmen (Bei EE bspw. nach 20a). Für Effizienztechnologien gilt: Verbrauch am Ende der vorherigen Dekade abzgl. Verbrauch am Ende der Betrachtungsdekade (bspw. Verbrauch 2020 abzgl. Verbrauch 2030 ist das Marktpotenzial in der Dekade 2021 bis 2030).
Alternatives Vorgehen	Die Szenarien geben nicht für alle Technologiefelder Informationen nach zukünftigem Bedarf. Hier kann, auch in Ergänzung, auf technologiespezifische Studien zurückgegriffen werden.

Das Marktpotenzial (MP) beschreibt die Gesamtheit möglicher Absatzmengen eines Produktes auf einem bestimmten Markt, wenn alle potenziellen Kunden im Rahmen der vorhandenen Kaufkraft ihren Bedarf decken würden. Es steht dabei die Frage im Raum: Wie entwickelt sich ein Markt in Zukunft? (Wöhe 1996, S. 629) Demnach ist das MP eine fiktive, abzuschätzende Größe (Meffert et al. 2014, S. 52), für deren Ermittlung oftmals Indikatoren wie Kaufkraft und Bevölkerungszahl herangezogen werden. Als Verfahren bietet sich z. B. die Zensus-Methode an, wonach das MP durch Addition der in einer umfangreichen Erhebung ermittelten individuellen Potenziale abgeleitet wird.

Je nach Produktart werden verschiedene Verfahren zur Bestimmung des MP verwendet. Bei den hier betrachteten Technologien zur Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoff sowie zur Effizienzverbesserung handelt es sich Großteils um Investitionsgüter. Als wichtige Indikatoren im Falle von Investitionsgütern dienen die generelle Wirtschaftsentwicklung, die technologische Entwicklung, die Potenziale nachgelagerter Wirtschaftszweige und die Struktur und Entwicklung des Außenhandels. (Baumohl 2007, S. 154; Cox 1979, S. 157ff.)

Im Zusammenhang mit den hier betrachteten innovativen Technologien spielen auch die energie- und klimapolitischen sowie gesellschaftlichen Ziele regionaler Märkte eine wesentliche Rolle. Durch verschiedenartige Anreize können sich Märkte auch stärker entwickeln, als es die ausschließlich private Zahlungsbereitschaft erwarten lässt. Es wird daher unterstellt, dass die Ziele erreicht werden sollen und es werden

verschiedene Optionen in Form von Szenarien vergleichend gegenübergestellt. Diese Ziel-Szenarien berücksichtigen üblicherweise verschiedene aus heutiger Sicht mögliche Entwicklungen relevanter Rahmenbedingungen (siehe u. a. vorheriger Absatz).

Zur Abschätzung eines mittel- bis langfristigen Marktpotenzials sind Szenarien daher eine wichtige Grundlage. Da das Marktpotenzial allerdings die Gesamtheit der möglichen Absatzmenge beschreibt, sind bereits bestehende Anlagen in Abzug zu bringen. D. h. für das Marktpotenzial des Jahres 2030 ist die installierte Leistung / Arbeit / Anzahl des Jahres 2020 in Abzug zu bringen. Für das Jahr 2040 entsprechend die bis 2030 installierten Anlagen bzw. die daraus resultierende Arbeit. Weiterhin sind Anlagen, die unter Berücksichtigung der Produktlebenszeit ausscheiden und entsprechend der Ausbauziele ersetzt werden müssten, hinzuzurechnen und erhöhen damit das Marktpotenzial.

Bei Effizienztechnologien ist nur die Differenz zwischen den beiden Dekaden aus den Szenarien als Bandbreite zu ermitteln.

Generell ist das Marktpotenzial in Bezug auf erzeugte, eingesetzte oder speicherbare Arbeit (in TWh) und die installierte Leistung (in GW) anzugeben. Gegebenenfalls kann eine eigene Umrechnung von Arbeit auf Leistung vorgenommen werden, sollten die Werte nicht aus den Szenarien ableitbar sein. Hierfür kann eine Abschätzung für aus ökonomischen Gesichtspunkten und technischen Restriktionen sinnvolle durchschnittliche Vollbenutzungsstunden je Technologiefeld vorgenommen werden. Der Berechnungsweg ist in diesem Fall darzulegen. Sofern keine aussagekräftigen Werte für installierte Leistung oder die erzeugte, eingesetzte bzw. speicherbare Arbeit je Technologiefeld angesetzt werden können, ist in begründeten Ausnahmefällen die Angabe von Werten für nur eine der beiden Größen möglich. Falls sinnvoll und leistbar, können die Marktpotenziale auch auf Technologieebene angegeben werden. Gegebenenfalls können Technologien hierfür sinnvoll zusammengefasst und gruppiert werden. Neben den in Kapitel 1.2 benannten Szenarien können zur Abschätzung des Marktpotenzials auch weitere internationale bzw. nationale Szenarien herangezogen werden, mit Hilfe derer sich ein optimistisch-realistisches Marktpotenzial global bzw. für Deutschland abschätzen lässt. Mindestanforderung an weitere Szenarien ist, dass diese ökonomische Rahmenbedingungen hinterlegt haben. Die Betrachtung möglichst aller Sektoren der Energieversorgung ist eine gewünschte, aber nicht verpflichtende Voraussetzung für die Szenarienauswahl. Bei einer Wahl weiterer Szenarien ist das „Setting“ dieser Szenarien kurz darzulegen, d.h. die wesentlichen ökonomischen Rahmenannahmen, die betrachteten Sektoren und spezifische Besonderheiten des Szenarios sind prägnant darzustellen.

Bei einzelnen Technologiefeldern ist eine abweichende Vorgehensweise vonnöten, die im Anschluss an die allgemeine Vorgehensweise beschrieben wird. In Ausnahmefällen ist ein Abweichen von der vorgegebenen Vorgehensweise zulässig, sofern dies sinnvoll erscheint und ausreichend begründet werden kann. Die Ausführungen sollten in diesem Fall plausibel sein, eine ähnlich hohe Aussagekraft besitzen und eine Bearbeitung der auf diesem Kriterium aufbauenden Kriterien zulassen. Nach Möglichkeit ist die in diesem Kapitel vorgegebene Vorgehensweise jedoch einzuhalten.

## Allgemeines Vorgehen zur Ermittlung des Kriteriums

### Teilkriterium 3.1 Globales Marktpotenzial

Grundlage für die Bestimmung des *globalen* Marktpotenzials aus heutiger Sicht ist die Bandbreite des gesamten weltweiten Technologieeinsatzes, abgeschätzt als Bandbreite über mindestens alle in Kapitel 1.2 genannten internationalen Szenarien. Diese ist in der nachfolgenden Tabelle darzustellen.

**Tab. 3-5 Bandbreite des globalen Technologieeinsatzes für das Technologiefeld X (absolute Werte aller installierten Anlagen im jeweiligen Stichjahr)**

Jahr	Referenz (BAU)		Szenarienbereich INT_2°C		Szenarienbereich INT_besser_2°C	
Einheit	GW/TWh		GW/TWh		GW/TWh	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2014						
2020						
2030						
2040						
2050						

Das eigentliche *globale* Marktpotenzial wird hieraus ermittelt, indem jeweils bereits bis Ende der vorangegangenen Dekade weltweit realisierte Umsetzungen (jeweils in GW und in TWh) abgezogen sowie notwendiger Ersatzbedarf zusätzlich berücksichtigt wird. Für eine bessere Vergleichbarkeit soll für die Ermittlung der Bandbreite in 2020 der Stand realisierter Umsetzungen des Jahres 2014 herangezogen werden.

**Tab. 3-6 Analyse des globalen Marktpotenzials für das Technologiefeld X**

Jahr	Referenz (BAU)		Szenarienbereich INT_2°C		Szenarienbereich INT_besser_2°C	
Einheit	GW/TWh		GW/TWh		GW/TWh	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2014 - 2020						
2021 - 2030						
2031 - 2040						
2041 - 2050						

Sofern zur Ermittlung des globalen Marktpotenzials keine geeigneten Daten vorhanden sind, ist ein pragmatischer Ansatz zu wählen und zu begründen. Dieser kann beispielsweise in einer Hochskalierung des nationalen Marktpotenzials auf die relevan-

ten weltweiten Absatzmärkte für das Technologiefeld bestehen. Alternativ wäre es denkbar, anhand der Firmenstruktur des jeweiligen Segments eine Abschätzung zu treffen, indem der Anteil deutscher Unternehmen am Gesamtmarkt hochskaliert wird. Sofern davon ausgegangen werden kann, dass ein Technologiefeld keine Relevanz für den internationalen Export aufweist, ist dies anzugeben und hinreichend zu begründen. In diesen begründeten Ausnahmefällen kann auf eine Ausweisung des internationalen Potenzials verzichtet werden.

### Teilkriterium 3.2 Nationales Marktpotenzial

Separat darzustellen ist das *nationale* Marktpotenzial. Dieses basiert analog auf der Bandbreite des Technologieeinsatzes über mindestens alle in Kapitel 1.2 genannten nationalen Szenarien.

**Tab. 3-7 Bandbreite des nationalen Technologieeinsatzes für das Technologiefeld X (absolute Werte aller installierten Anlagen im jeweiligen Stichjahr)**

Jahr	Szenarienbereich DE_80%		Szenarienbereich DE_95%	
	Min	Max	Min	Max
Einheit	GW/TWh		GW/TWh	
2020				
2030				
2040				
2050				

Das nationale Marktpotenzial wird hieraus ermittelt durch Abzug der bereits bis Ende der vorangegangenen Dekade des Betrachtungsjahres national realisierten Umsetzungen (jeweils in GW und in TWh) sowie durch Berücksichtigung nationaler Er-satzmaßnahmen.

**Tab. 3-8 Analyse des nationalen Marktpotenzials für das Technologiefeld X**

Jahr	Szenarienbereich DE_80%		Szenarienbereich DE_95%	
	Min	Max	Min	Max
Einheit	GW/TWh		GW/TWh	
2014 - 2020				
2021 - 2030				
2031 - 2040				
2041 - 2050				

## Verifizierung mittels Analyse der implizierten Wachstumsraten

Die in den vorherigen Tabellen ermittelten Marktpotenziale müssen in einem zweiten Schritt hinsichtlich der in den Szenarien implizierten Wachstumsraten verifiziert werden. Sind in den Szenarien unrealistisch hohe Wachstumsraten angenommen worden, sollten diese durch Experteneinschätzung angepasst und die Anpassung entsprechend begründet werden.

Die Marktanteile neuer Technologien folgen meist einem S-Kurven-Verlauf. In der ersten Marktphase erfolgt ein ungefähr exponentielles Wachstum, das sich später verlangsamt. Daher ist die Wahl eines geeigneten Startjahres entscheidend für die Berechnung der mittleren Wachstumsrate. Die mittleren Wachstumsraten neuer Technologien im Energiesektor liegen im Bereich von 10 – 30 % p. a. Bei kurzen Beobachtungszeiträumen und sehr geringen Marktanteilen sind teilweise auch höhere Wachstumsraten möglich.

Als gutes Maß zur Analyse plausibler Marktpenetrationsraten wird die mittlere jährliche Wachstumsrate CAGR (engl. compound annual growth rate) empfohlen:

$$\text{CAGR}(t,t') = \left( \frac{N(t')}{N(t)} \right)^{\frac{1}{(t'-t)}} - 1$$

(mit jährlichen Neuzulassungen  $N(t)$ ).

Entsprechend der Formel hängt die Wachstumsrate sowohl von der konkreten Marktentwicklung als auch von den gewählten Anfangs- und Endjahren  $t$  und  $t'$  ab.

Zur Ermittlung sind die Mediane aus den in den herangezogenen Szenarien angegebenen Werten bzw. zumindest aus den ermittelten Minimal- und Maximalwerten zu bilden. Ferner sind je Technologiefeld geeignete Start- bzw. Endwerte festzulegen:

- Bei Technologien, welche 2014 bereits im Markt sind, ist die CAGR(2014,2050) anzugeben.
- Bei Technologien mit Markteintritt nach 2014 und vor 2030 sind zwei Werte auszuweisen. Einerseits ist die CAGR(Jahr der voraussichtlichen Markteinführung, 2030) und andererseits die CAGR(2030,2050) anzugeben.
- Bei Technologien, deren Markteintritt erst nach 2030 erwartet wird ist die CAGR(Jahr der voraussichtlichen Markteinführung,2050) anzugeben.

**Tab. 3-9 Ermittlung Wachstumsrate für das Technologiefeld X**

Technologie	Zeitraum	CAGR

## Monetarisierung des Marktpotenzials

Neben einer Angabe der erzeugten, eingesetzten oder speicherbaren Arbeit (in TWh) sowie der Leistung (in GW) ist eine Monetarisierung des Marktpotenzials vorzunehmen. Hierfür ist die in den jeweiligen Dekaden neu installierte Leistung monetär zu bewerten (spezifischer Investitionsaufwand in €2015/GW multipliziert mit der jeweils neu installierten Leistung in GW), um das kumulierte Investitionsvolumen je Technologiefeld und Dekade abzuschätzen. Alternativ kann eine monetäre Bewer-



tung derjenigen Größe vorgenommen werden, welche das Investitionsvolumen für das jeweilige Technologiefeld maßgeblich bestimmt, wie beispielsweise die erzeugte, eingesetzte bzw. speicherbare Arbeit, die Stückzahlen usw. Zielstellung ist es, zu einer, wenn auch nur sehr grob abschätzbaren, monetären Größenordnung zu kommen, um Aussagen in Bezug auf den Förderbedarf abzuleiten. Die monetäre Bewertung ist inflationsbereinigt in Preisen von 2015 vorzunehmen (siehe hierzu Kapitel 4.3 im Anhang). Sowohl das nationale als auch das internationale Marktpotenzial sind monetär zu bewerten. Es sind analog zu der oben angegebenen Vorgehensweise jeweils Minima und Maxima anzugeben. In einer Vereinfachung können für die monetäre Bewertung des internationalen Marktpotenzials im internationalen Kontext die gleichen Werte angesetzt werden wie im nationalen Kontext.

### **Spezielles Vorgehen für einzelne Technologiefelder**

Speichertechnologien und Netze (Technologiefelder 3.1, 3.2, 3.3 a und 3.3 b): Bei Speichertechnologien ist auf die installierten Leistungen sowie die speicherbare Arbeit abzustellen. Eine Monetarisierung kann anhand der oben angegebenen Vorgehensweise vorgenommen werden. Bei Netzen scheint eine Abweichung von der hier angegebenen Vorgehensweise sowie eine Betrachtung auf Technologieebene mit sinnvoller Gruppierung angebracht. Die genaue Ausgestaltung wird den Bearbeitern der Technologiefelder überlassen. Eine gegenseitige Abstimmung der Bearbeiter von Technologiefeld 3.1 und 3.2 diesbezüglich wird empfohlen.

Sektorkopplungstechnologien (Technologiefelder 4.1, 4.2 a sowie 4.2 b und 4.3): Bei Sektorkopplungstechnologien ist auf die installierten Leistungen sowie die eingesetzten Strom- bzw. Endenergiemengen abzustellen. Die unterstellten Umwandlungswirkungsgrade sowie die erzeugten Endenergiemengen des Erzeugnisses können als ergänzende Information angegeben werden. Eine Monetarisierung kann anhand der oben angegebenen Vorgehensweise vorgenommen werden.

Effizienztechnologien (Technologiefelder 5.1, 6.1, 6.2 und 6.4): Bei Effizienztechnologien stellen weder die installierte Leistung noch die eingesetzte Endenergie sinnvolle Größen dar. Stattdessen ist bei Effizienztechnologien im Stromsektor auf die eingesparte elektrische Arbeit abzustellen. Für diese sind den herangezogenen Szenarien Minima und Maxima analog zu der oben in Bezug auf Arbeit bzw. Leistung angegebenen Vorgehensweise zu entnehmen. Sofern keine Angaben zu den eingesparten Strommengen verfügbar sind, ist auf die eingesparte Endenergie abzustellen. Bei sonstigen Effizienztechnologien ist auf die eingesparte Endenergie abzustellen. Die eingesparten Strom- bzw. Endenergiemengen sind monetär zu bewerten. Eine Monetarisierung kann anhand der oben angegebenen Vorgehensweise erfolgen. Ergänzend können Schätzungen für Absatz- sowie Umsatzmengen für die relevantesten Effizienztechnologien aufgeführt werden, sofern dies für sinnvoll erachtet wird und leistbar ist.

### **3.3.2 Allgemeine Hinweise zu den nachfolgenden Kriterien 4 bis 6**

Folgende allgemeingültige Hinweise sind für die Bearbeitung der nachfolgenden Kriterien 4 – 6 gleichermaßen zu beachten:

- Alle Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes, der in Kriterium 3 in Tab. 3-5 (global) und Tab. 3-7 (national) angegeben wird. Dies entspricht einer Min-Max-Betrachtung (mindestens) über die Bandbreite aller in Kapitel 1.2 genannten Szenarien.
- Die berechneten Einsparpotenziale werden stets der Erzeugung und den Effizienzmaßnahmen zugerechnet. Für „Enabling technologies“ (z. B. für Speichertechnologien) müssen diese Kriterien daher nicht bzw. nicht quantitativ bearbeitet werden. Stattdessen lassen sich für diese Technologien ggfs. qualitative Aussagen treffen. Denkbar sind Aussagen wie: „Eine gut ausgebaute Infrastruktur ermöglicht die Aufnahme größerer FEE-Mengen.“; „Eine zusätzliche Transportkapazität von x ermöglicht die Aufnahme von y % mehr Einspeisung / den Anschluss von z GW mehr Erzeugungsleistung.“
- Um der Standortabhängigkeit der Auswirkungen dargebotsabhängiger Erzeugungstechnologien (z. B. Photovoltaik) Rechnung zu tragen, sind geeignete Mittelwerte zu berücksichtigen.
- Die Potenziale werden als Differenz zwischen der Technologie und der Referenztechnologie (s. Anhang) berechnet. Einsparungen sind als positive Werte, eventueller Mehraufwand als negative Werte in den Tabellen darzustellen.
- Die vorgenommenen Berechnungen sind in einem kurzen Begleittext zur Tabelle unter Angabe der angesetzten quantitativen Annahmen kurz zu erläutern, so dass die Ergebnisse des Kriteriums nachvollziehbar werden.

### 3.3.3 Kriterium 4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen

Definition des Kriteriums	Berechnung der THG-Einsparungen und gegebenenfalls weiterer wichtiger Emissionseinsparungen von Erzeugungs- und Effizienztechnologien gegenüber Referenztechnologie (möglichst inkl. Vorkettenemissionen)
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, welchen Beitrag das Technologiefeld zur Erreichung der aktuellen klimapolitischen Ziele in Deutschland liefern kann.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/>
Bearbeitungspriorität	THG-Emissionen: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Andere Emissionen: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird quantitativ angegeben. Die Berechnungen basieren auf belegbaren Daten und sind nachvollziehbar darzustellen (Berechnungsdaten werden offengelegt). Sind keine Datengrundlagen vorhanden, sollte dies dargestellt werden. In dem Fall braucht das Kriterium nicht ausgefüllt zu werden. Alle Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr.
Alternatives Vorgehen	Keines

### Teilkriterium 4.1 Vermiedene Treibhausgas-Emissionen

Um die Auswirkung eines Technologiefeldes auf die Treibhausgasemissionen zu bewerten, ist die Einschätzung der Effekte im Vergleich zur Referenztechnologie erforderlich. Die Definition bzw. Festlegung der Referenztechnologie findet sich in Anhang 4. Die Marktentwicklung wird – als Spannbreite – dem Kriterium 3: *Marktpotenzial* entnommen.

Die Potenziale zur Vermeidung der Treibhausgasemissionen in Tab. 3-10 werden als Differenz zwischen der Technologie und der Referenztechnologie berechnet. Sie werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben und umfassen demnach auch weitere Klimagase neben CO<sub>2</sub>. Sofern Umrechnungen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente erforderlich werden, sind für das Treibhauspotenzial Faktoren entsprechend der Berechnung externer Kosten in Kriterium 6 anzusetzen.

Vorkettenemissionen, z. B. beim Anlagenbau oder Ressourcenabbau, sollen möglichst Berücksichtigung finden, soweit diese ermittelt werden können. Die Berücksichtigung über einen Zuschlagfaktor, bspw. basierend auf Briem et al. (2004), ist insbesondere dann angezeigt, wenn vorgelagerte Emissionen mit mehr als 10 % zu den Gesamtemissionen beitragen. Der Umgang mit Vorkettenemissionen bei der Berechnung ist zu dokumentieren. Bei Werten aus Ökobilanz-Studien sind Vorkettenemissionen i.d.R. mit enthalten.

Die vorgenommenen Berechnungen sind in einem kurzen Begleittext zur Tabelle unter Angabe der angesetzten spezifischen Emissionsfaktoren kurz zu erläutern, so dass die Ergebnisse des Kriteriums nachvollziehbar werden. Die Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr.

**Tab. 3-10 Jährlich vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (jeweils in Spannbreiten)**

Mio. t CO <sub>2</sub> -äq./a	Szenarienbereich DE_80%	Szenarienbereich DE_95%
	Min - Max	Min - Max
2020	xx – yy	xx – yy
2030	xx – yy	xx – yy
2040	xx – yy	xx – yy
2050	xx – yy	xx – yy
Anmerkung: Es werden die vermiedenen Emissionen im Bezugsjahr dargestellt, nicht die kumulierten vermiedenen Emissionen bis zum Bezugsjahr.		

Je Nach Einsatzstoff können sich die spezifischen Emissionen bestimmter Technologien ändern. Bei Biomasse ist deshalb ähnlich wie bei dezentralen Kraftwerken (Brennstoffwechsel) ein Sonderfall gegeben: Bitte bei der Berechnung differenzieren zwischen Änderungen durch technische Weiterentwicklung und Änderungen durch Brennstoffwechsel.

### Teilkriterium 4.2 Vermiedene oder gestiegene andere Emissionen

Wenn andere Emissionen, wie z. B. NO<sub>x</sub> oder Feinstaub, ebenfalls relevant sind im Vergleich der Technologie zur Referenztechnologie, dann werden diese ebenfalls angegeben (entweder quantitativ oder qualitativ), siehe Tab. 3-11. Auch hier dient eine kurze textliche Erläuterung quantitativer Ergebnisse unter Angabe spezifischer Emissionsfaktoren der besseren Nachvollziehbarkeit. Hier ist ebenfalls eine Min-Max-Betrachtung auf Grundlage der Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 vorgesehen.

**Tab. 3-11 Weitere wichtige Emissionen, die jährlich durch Technologiefeld X in Deutschland vermieden (oder ggf. zusätzlich verursacht) werden (jeweils in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr)**

Name des Schadstoffs:		
Mio. t/a	Szenarienbereich DE_80%	Szenarienbereich DE_95%
	Min - Max	Min - Max
2020	xx – yy	xx – yy
2030	xx – yy	xx – yy
2040	xx – yy	xx – yy
2050	xx – yy	xx – yy
Anmerkung: Es werden die vermiedenen Emissionen im Bezugsjahr dargestellt, nicht die kumulierten vermiedenen Emissionen bis zum Bezugsjahr.		
Für mehr als einen Schadstoff bitte die Tabelle kopieren.		

### 3.3.4 Kriterium 5: Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz

Definition des Kriteriums	Berechnungen der Primärenergie-Einsparungen gegenüber Referenztechnologie und gegebenenfalls weitere wichtige Ressourceneffizienzbeiträge
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, welchen Beitrag das Technologiefeld zur Erreichung der aktuellen Energieeffizienzziele und gegebenenfalls der Ressourceneffizienzziele in Deutschland leisten kann.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Primärenergie-Einsparungen: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Ressourceneffizienz: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input checked="" type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird quantitativ (Primärenergieeinsparung) oder quantitativ/qualitativ (Ressourceneffizienzziele) angegeben. Die Berechnungen basieren auf belegbaren Daten und sind nachvollziehbar darzustellen (Berechnungsdaten werden offengelegt), qualitative Angaben werden begründet. Sind keine Datengrundlagen vorhanden, sollte dies dargestellt werden. In dem Fall braucht das Kriterium nicht ausgefüllt zu werden. Alle Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr.
Alternatives Vorgehen	Keines

#### Teilkriterium 5.1 Energieeffizienz

Der vermiedene (oder gegebenenfalls erhöhte) *Primärenergieeinsatz* wird je Technologiefeld im Vergleich zur Referenztechnologie je Szenario und Zeithorizont ermittelt und dargestellt (Tab. 3-12). Die Referenz wird in Übereinstimmung mit der Vorgehensweise bei *Kriterium 6* (Kosteneffizienz, siehe Kapitel 3.3.5) festgelegt. Die Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr. Nicht für alle Technologiefelder kann dies sinnvoll angegeben werden (z. B. für Speichertechnologien). In diesem Fall braucht das Kriterium nicht ausgefüllt zu werden.

Ökonomischere Biomassenutzung (und auch sonstige ökonomischere Nutzung von Primärenergie z. B. durch verbesserten Wirkungsgrad) ist ebenfalls im Rahmen dieses Teilkriteriums zu berücksichtigen.

**Tab. 3-12 Jährlich vermiedener Primärenergieeinsatz durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr)**

PJ/a	Szenarienbereich DE_80%	Szenarienbereich DE_95%
	Min - Max	Min - Max
2020	xx – yy	xx – yy
2030	xx – yy	xx – yy
2040	xx – yy	xx – yy
2050	xx – yy	xx – yy

Anmerkung: Es wird der vermiedene Primärenergieeinsatz im Bezugsjahr dargestellt, nicht der kumulierte vermiedene Primärenergieeinsatz bis zum Bezugsjahr.

### Teilkriterium 5.2 Ressourceneffizienz (nur optional anzugeben)

Weiterhin kann *optional* der Beitrag des Technologiefeldes zur *Ressourceneffizienz* analysiert und ebenfalls im Vergleich zur Referenztechnologie je Szenario und Zeithorizont als Min-Max-Betrachtung angegeben werden (Tab. 3-13). Durch den Vergleich mit den vermiedenen Treibhausgasemissionen (*Kriterium 4*) und dem Primärenergieeinsatz (Tab. 3-12) können mögliche negative trade-offs zwischen Klimaschutz, Energieeinsatz und Ressourcenverbrauch aufgezeigt werden.

Der Ressourcenverbrauch sollte dabei folgende Teile umfassen:

- 1 | kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)<sup>1</sup> nach VDI-Richtlinie 4800, Blatt 2 (Entwurfssfassung VDI 2016) und den dort angegebenen Bilanzierungsregeln
- 2 | anteilig hieran der KRA ohne energetische Rohstoffe (die in Tab. 3-12 bilanziert wurden)
- 3 | anteilig hieran der Verbrauch kritischer Rohstoffe (die in Tab. 3-4 dargestellt wurden)

<sup>1</sup> Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) = Summe der für Herstellung und Transport eines Produkts aufgewendeten Primärrohstoffe, inklusive der Energierohstoffe, entlang der Wertschöpfungskette. Nicht wirtschaftlich verwendete Stoffe und Stoffgemische, wie die nicht verwertete Entnahme, bleiben unberücksichtigt. (VDI 2016)

**Tab. 3-13 Jährlich vermiedener oder zusätzlicher Ressourceneinsatz durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (in Spannbreiten; für alle installierten Anlagen im Jahr)**

t/a	Szenarienbereich DE_80%			Szenarienbereich DE_95%		
	KRA	KRA ohne KEA	Nur kritische Rohstoffe	KRA	KRA ohne KEA	Nur kritische Rohstoffe
2020	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy
2030	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy
2040	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy
2050	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy	xx – yy
Anmerkung: Es wird der vermiedene oder zusätzliche Ressourcenverbrauch im Bezugsjahr dargestellt, nicht der kumulierte vermiedene oder zusätzliche Ressourcenverbrauch bis zum Bezugsjahr.						

Ist die Berechnung nicht möglich oder liegen keine zitierbaren Quellen vor, sollte zumindest eine semi-quantitative Einschätzung des nicht-energetischen Ressourcenverbrauchs erfolgen (Tab. 3-14). Zu den Abschätzungen sollte eine qualifizierte Begründung gegeben werden.

**Tab. 3-14 Alternativabschätzung des jährlich vermiedenen oder zusätzlichen Ressourceneinsatzes durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall**

(1) Der kumulierte Ressourcenverbrauch bis zum Jahr 2050 ...

Szenarienbereich DE\_80% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐Szenarienbereich DE\_95% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐

Begründung:

(2) Der kumulierte Ressourcenverbrauch (ohne energetische Rohstoffe) bis zum Jahr 2050 ...

Szenarienbereich DE\_80% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐Szenarienbereich DE\_95% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐

Begründung:

(3) Der kumulierte Ressourcenverbrauch (nur kritische Rohstoffe) bis zum Jahr 2050 ...

Szenarienbereich DE\_80% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐Szenarienbereich DE\_95% fällt stark ☐ fällt ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ steigt stark an ☐

Begründung:

Steigt/fällt: bis zum 10fachen; Steigt stark/fällt stark: um das 10-100 fache

### 3.3.5 Kriterium 6: Kosteneffizienz

Definition des Kriteriums	Kosten im Vergleich zu einer Referenztechnologie (einerseits systemanalytische Kosten, andererseits – optional – externe Kosten)
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll die Wirtschaftlichkeit des Technologiefeldes bewertet werden.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Kosteneinsparung: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Externe Kosten: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input checked="" type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird quantitativ angegeben. Die Berechnungen basieren auf belegbaren Daten und sind nachvollziehbar darzustellen (Berechnungsdaten werden offengelegt). Alle Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr.
Alternatives Vorgehen	Keines

#### Teilkriterium 6.1 Einsparung direkter und indirekter Kosten

Um die energiewirtschaftlichen Vorteile einer Technologie zu bewerten, ist die Einschätzung der Kostenersparnisse (bzw. die Mehrkosten) im Vergleich zur Referenz-



technologie (Neuanlage) erforderlich. Die Definition bzw. Festlegung der Referenztechnologie findet sich im Anhang 4. Dabei werden sowohl Brennstoffkosten als auch Investitionen und Betriebskosten (Instandhaltung und Wartung etc.) berücksichtigt (siehe zur Festlegung der entsprechenden Parameter Anhang 4, AMS-Szenario, dort sind auch die Strompreise zu entnehmen). Die Berechnungen basieren auf den Bandbreiten des Technologieeinsatzes aus Kriterium 3 im jeweiligen Jahr.

Für unterschiedliche Zeithorizonte werden im Vergleich zur Referenztechnologie die Kosteneinsparpotenziale gemäß Tab. 3-15 als Min-Max-Betrachtung eingeschätzt, indem die Differenz der Kosten zwischen Referenzfall und Einsatz der betrachteten Technologie gebildet wird. Die zeitliche Entwicklung spezifischer techno-ökonomischer Parameter, die der Kostenrechnung zugrunde liegt, wird in einer separaten Tabelle in der vorangestellten Beschreibung des Technologiefeldes erläuternd angegeben (siehe Kapitel 2.2). Es ist ausreichend, in diesem Kriterium noch einmal auf die vorangestellte Tabelle zu verweisen oder nur die ökonomischen Kenndaten hier noch einmal zu nennen.

**Tab. 3-15 Jährliche direkte und indirekte Kosteneinsparpotenziale (oder Mehrkosten) durch Technologiefeld X in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (nicht abgezinst auf ein Basisjahr; für alle installierten Anlagen im Jahr)**

Mrd. € <sub>2015/a</sub>	Szenarienbereich DE_80%	Szenarienbereich DE_95%
	Min - Max	Min - Max
2020	xx – yy	xx – yy
2030	xx – yy	xx – yy
2040	xx – yy	xx – yy
2050	xx – yy	xx – yy

Da die Kosten je nach Szenario aufgrund unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise variieren können, wird zwischen den Szenarien unterschieden (siehe Anhang 4, wo für die unterschiedlichen Szenarienwelten zwei unterschiedliche Zertifikatspreisentwicklungen angegeben sind, abgeleitet aus der Studie „Klimaschutzszenario 2050“). Durch die Berechnung der THG-Einsparungen (siehe Kriterium 4) kann man die Einsparungen bei den CO<sub>2</sub>-Zertifikaten berechnen.

Zur ökonomischen Bewertung der Technologien werden die *systemanalytischen, volkswirtschaftlichen Kosten* als Basis genommen. In Anlehnung an Breitschopf et al. (2011) und Breitschopf et al. (2016) werden diese folgendermaßen festgelegt:

*Systemanalytische Kosten umfassen alle direkten und indirekten Kosten der Realisierung von Maßnahmen, denen ein unmittelbarer oder mittelbarer Ressourcenverbrauch gegenübersteht.*

Die *direkten Kosten* erfassen die zur Erstellung und zum Betrieb einer Technologie benötigten Ressourcen (z. B. an Arbeitsleistungen, Betriebsmitteln und Werkstoffen). Die *indirekten Kosten* sind Folgekosten der Anlagenerstellung oder des Anlagenbetriebs, insbesondere Infrastrukturkosten (z. B. Netzausbau). Systemanalytische

Kosten werden unabhängig davon ermittelt, welche Akteure damit belastet werden. Derartige Verteilungseffekte werden in dieser Studie nicht behandelt.

Bei der Berechnung der Kosten der Maßnahmen werden alle Kosten (Investitionen, fixe und variable Kosten) ohne direkte sowie indirekte Steuern und Abgaben auf Energieträger und THG-Emissionen berücksichtigt. Dies ist eine übliche Vorgehensweise bei derartigen Fragestellungen, siehe z. B. Ostertag et al. (2000). Neben den auf Energieträger und THG-Emissionen anfallenden Steuern und Abgaben wird die Mehrwertsteuer ebenfalls nicht in die Kalkulation der volkswirtschaftlichen Kosten integriert.

Die Kosten werden als jährliche Kosten inflationsbereinigt mit Preisjahr 2015 angegeben. Die Investitionen in den Jahren der Ausweisung werden als Annuität umgelegt. Als volkswirtschaftlicher Zinssatz wird hier einer von 4 % gewählt. Ein solcher ist in der Impact-Assessment-Richtlinie der EU empfohlen (siehe European Commission 2015).

Formel zu Berechnung der Annuität:

$$A = [(1 + i)^n \times i] / [(1 + i)^n - 1] \text{ mit } i = \text{Zinssatz (4 \%)} \text{ und } n \text{ Anzahl der Jahre.}$$

Allgemeine Formel zur Berechnung der systemanalytischen Kosten K:

$$K = \text{Investitionen} \times A + \text{fixe jährliche Ausgaben} + \text{variable jährliche Ausgaben}$$

Wichtig ist festzuhalten, dass mit der Vorgehensweise nur eine sehr grobe Abschätzung der Systemkosten möglich ist. Weiterhin weicht die akteursspezifische wirtschaftliche Sichtweise (betriebswirtschaftliche Sicht der Unternehmen und der privaten Haushalte) davon ab. Bedeutsam ist weiterhin, dass die isolierte Betrachtung von Maßnahmen nicht hinreichend sein kann. Durch Wechselwirkungen zwischen den Einzelmaßnahmen kann das Minderungspotential geringer sein als die Summe der Einzelpotentiale (z. B. können sich verschiedene Maßnahmen im Verkehr gegenseitig beeinflussen oder sogar ausschließen).

Weiterhin wichtig ist zu beachten, dass neben den direkten Kosten zur Erstellung und Betrieb auch *indirekte* Kosten anfallen können. Diese sind Folgekosten der Anlagenerstellung oder des Anlagenbetriebs, insbesondere Infrastrukturkosten (z. B. Netzausbau) (siehe zur Definition und Berechnung auch Breitschopf et al. (2011) und Breitschopf et al. (2016)). Wenn möglich sind diese auch mit aufzunehmen (bitte separat ausweisen und dokumentieren).

### Teilkriterium 6.2 Externe Kosten (nur optional anzugeben)

Sofern die Akteure die mit der Nutzung der Umwelt einhergehenden Wirkungen nicht – oder nicht ausreichend – in ihr ökonomisches Entscheidungskalkül einbeziehen, spricht man von *externen Effekten*. Die monetär bewerteten negativen Wirkungen bezeichnet man als *externe Kosten*. Charakteristisch für externe Kosten ist die Tatsache, dass nicht die Verursacher diese Kosten tragen, sondern Individuen (oder auch die Gesellschaft als Ganzes), die in keiner direkten oder indirekten Marktbeziehung zu den Verursachern stehen. Im Ergebnis stellt sich eine Situation ein, in der die Umwelt über ein ökonomisch optimales Maß hinaus beansprucht wird. Es handelt sich also um Effekte außerhalb bestehender Märkte. Beispiele hierfür sind die

Inanspruchnahme, d. h. die Verschmutzung sauberer Luft, die Veränderung des Klimas oder sonstige Beeinträchtigungen Dritter.

Externalisierte Kosten beziehen sich explizit nicht auf die gesamte (nicht-bepreisbare) Schädigung, sondern auf denjenigen Teil ihres volkswirtschaftlichen Effekts, der hinreichend offensichtlich für eine ökonomische Bewertung ist. Eine solche Betrachtung wird stets blinde Flecke und eine gewisse „Kurzsichtigkeit“ aufweisen, weshalb der tatsächliche volkswirtschaftliche Schaden noch bedeutend höher liegen dürfte. Weiterhin impliziert diese Betrachtungsweise die prinzipielle Austauschbarkeit von ökosystemischen Dienstleistungen, was höchstens in begrenztem Maß der Fall ist und lediglich so lange ein haltbarer Ansatz ist, wie keine hinreichend gravierende Schädigung vorliegt, um einen (nicht-linearen) systemischen Zusammenbruch zu verursachen. Um eine nicht-zielführende Ökonomisierung von Ökosystemen zu vermeiden, wird zudem nicht-monetären Schädigungen (wie viel ist ein blauer Himmel oder das Überleben einer Spezies wert?) kein zusätzliches „Preisschild“ zugeschrieben (Costanza et al. 1997, 1998; Fitter 2013).

Externe Kosten werden in dieser Studie nur in denjenigen Fällen quantifiziert, in denen belastbare spezifische Preis- bzw. Kostenangaben vorliegen. Indem auf die in *Kriterium 4* ermittelten vermiedenen jährlichen Emissionen durch das Technologiefeld zurückgegriffen wird (Tab. 3-10 und Tab. 3-11), können in Tab. 3-16 die jährlich vermiedenen externen Kosten errechnet werden. Dies betrifft folgende beiden Kategorien:

## Klimawirkungen

Ein Wechsel der Primärenergiequellen und Kraftstoffe hat unmittelbare Auswirkungen auf den THG-Ausstoß. Zur Quantifizierung der verursachten Kosten sollte auf die UBA-Methodenkonvention zurückgegriffen werden (UBA 2014a).

- UBA gibt für 2010 einen CO<sub>2</sub>-Preis in Höhe von 80 €/t CO<sub>2</sub> (unterer Wert 40, oberer Wert 120) und für 2030 von 145 €/t CO<sub>2</sub> (unterer Wert 70, oberer Wert 215) an. Bei linearer Preisangleichung ergibt dies für das Jahr 2015 z. B. einen Preis von 96,25 €/t CO<sub>2</sub> mit einem Spread zwischen 47,5 €/t CO<sub>2</sub> als unterem und 143,75 als oberem Wert.
- Kostensätze für die Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden analog zum Treibhausgaspotenzial berechnet. Für Methan (CH<sub>4</sub>) wird der 25fache Satz der CO<sub>2</sub> Kosten, für Lachgas (N<sub>2</sub>O) der 298fache Satz verwendet (UBA 2014a:5).

Es handelt sich bei den Angaben um volkswirtschaftliche Schadenskosten, d. h. durch diese Schädigung an anderer Stelle auftretende Anpassungskosten, in der Art der Kompensation eines Mangels (z. B. durch Luftverschmutzung erhöhte Gesundheitskosten oder Klimawandel-Anpassungskosten wie etwa für den Bau höherer Flutdämme). Dies sind explizit keine Angaben zu Schadens-Vermeidungskosten, da sie sich nicht auf die entstehenden Schäden beziehen und im Allgemeinen deutlich unterhalb dieser Werte liegen.

In Tab. 3-16 sind die Schädigungskosten für die Jahre 2015 und 2030 angegeben. Für andere Jahre müssten die Treibhausgas-Emissionskosten entsprechend angepasst werden.

## Luftschadstoffe

Auch der Schadstoffeintrag in die Atemluft erfolgt oft direkt, z. B. aus dem angewandten Kraftstoff und der verwendeten Technologie zur Energieerzeugung. Für Feinstaubpartikel (PM), allgemeine Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), flüchtige organische Nicht-Methan-Verbindungen (NMVOC) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) gibt UBA keine zeitabhängigen Werte an. Hierbei werden die monetär beschreibbaren Aspekte von Gesundheitsschäden, Biodiversitätsverlusten und Ernte- und Materialschäden summiert. Die Kosten beziehen sich somit explizit nicht auf die gesamte Schädigung, sondern auf den direkt einpreisbaren Teil ihres volkswirtschaftlichen Effekts, wodurch eine gewisse Unvollständigkeit unvermeidbar ist.

Standortbezogen können diese Kosten noch stark abweichen, da z. B. Feinstaubpartikel von Kleinf Feuerungsanlagen in Wohngebieten einen erheblich höheren gesundheitsschädlichen Effekt aufweisen und somit zum Teil mehrfach höhere Schadenskosten auftreten.

**Tab. 3-16 Jährlich vermiedene (oder ggf. zusätzlich verursachte) externe Kosten in Deutschland durch Technologiefeld X (immer in Differenz zur Referenztechnologie)**

Schadstoff	Spezifische Externe Kosten	Vermiedene Emissionen nach Tab. 3-10 Tab. 3-11	Vermiedene Externe Kosten
Einheit	€ <sub>2015</sub> /t Schadstoff	Mio. t Schadstoff/a	€ <sub>2015</sub> /a
CO <sub>2</sub> (2015)	96 (48 – 144)		
CO <sub>2</sub> (2030)	145 (70 – 215)		
N <sub>2</sub> O (2015)	28.700 (14.200 – 42.800)		
N <sub>2</sub> O (2030)	43.200 (20.900 – 64.100)		
CH <sub>4</sub> (2015)	2.410 (1.190 – 3.590)		
CH <sub>4</sub> (2030)	3.630 (1.750 – 5.380)		
PM <sub>2,5</sub>	55.400		
PM <sub>coarse</sub>	2.900		
PM <sub>10</sub>	39.700		
NO <sub>x</sub>	12.600		
SO <sub>2</sub>	11.900		
NMVOC	1.600		
NH <sub>3</sub>	18.200		
Hinweis: Hier brauchen nur die in Kriterium 4 betrachteten Schadstoffe bilanziert zu werden.			

Weitere Externalitäten können in den nachfolgenden drei Kategorien auftreten. Sie sollten zumindest qualitativ angesprochen werden, wenn sie für das betrachtete Technologiefeld relevant sind. Dabei sollte wenn möglich auf weiterführende Literatur verwiesen werden.

- **Lärm:** Unterschiede zu herkömmlichen Energienutzungsformen sind beispielsweise die geringere Geräuschemission von Elektrofahrzeugen in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen unter 30-40 km/h oder die Lärmentwicklung bei Windrädern zur Stromerzeugung.
- **Natur, Landschaft, Artenvielfalt, Trennwirkungen etc.:** Diese Effekte beruhen zum überwiegenden Teil auf der Existenz von Verkehrsinfrastrukturen oder Kraftwerken.
- **Langfristige Risiken der Energieerzeugung:** Hierzu zählen Unfallrisiken und das Endlagerproblem bei Nuklearanlagen, Umweltrisiken der Förderung von Öl und

Gas aus nichtkonventionellen Quellen, Umweltrisiken der Braunkohle sowie Risiken während und nach dem Kohlebergbau (Ewigkeitslasten). Diese sind durchaus eng mit den verwendeten Energieträgern verknüpft.

## Gruppe II: Positionierung deutscher Unternehmen

### 3.3.6 Kriterium 7: Inländische Wertschöpfung

Definition des Kriteriums	Inländische Wertschöpfung in €
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll angegeben werden, welchen Beitrag der nationale und/oder internationale Ausbau des betrachteten Technologiefeldes zur inländischen Wertschöpfung leisten kann (Indikator für inländische wirtschaftliche Relevanz).
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland/International
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird quantitativ angegeben. Die Berechnungen basieren auf belegbaren Daten, Studien oder Experteneinschätzungen und leiten sich aus Kriterium 3: <i>Marktpotenziale</i> ab.
Alternatives Vorgehen	Ist keine quantitative Beschreibung möglich, sollte zumindest qualitativ argumentiert werden.

Mit diesem Kriterium erfolgt die Abschätzung der möglichen Wertschöpfung, die in Deutschland generiert werden könnte. Sie umfasst sowohl Industrie (Maschinenbau, Anlagenbau und Systemkomponenten, z. B. Produktion von Stacks für die Brennstoffzelle) sowie nach Möglichkeit auch Dienstleistungen (z. B. Installation von PV-Anlagen) und unterscheidet Absatzmengen in Deutschland produzierender Unternehmen in Deutschland als auch im Ausland.

#### Empfohlener vereinfachter Ansatz: Heranziehen von Studien

Zur Bearbeitung des Kriteriums können (historische) Werte für die Wertschöpfung je Technologiefeld bzw. Technologie aus möglichst aktuellen Studien herangezogen werden, in denen in der Regel eine Abschätzung der Wertschöpfung bzw. von Beschäftigungseffekten auf Basis von Input-Output-Modellen vorgenommen wurde. Soweit möglich sollten in diesen Abschätzungen direkte wie auch indirekte Effekte (vorgelagerte Industrien) berücksichtigt worden sein. Als möglichst aktuelle Studien genutzt werden können beispielsweise die folgenden, welche vorrangig den Bereich der erneuerbaren Energien adressieren:

- GWS et al. (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen.  
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/beschaeftigung-durch-erneuerbare-energien-in-deutsch->

land.pdf;jsessionid=61EC8C90862F393A42D9711A9EA8DE0D?\_\_blob=publicationFile&v=6.

- Böhmer et al. (2015): Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Energiewirtschaft.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wertschoepfungs-und-beschaefigungseffekte-der-energiwirtschaft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wertschoepfungs-und-beschaefigungseffekte-der-energiwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=4).
- O’Sullivan et al. (2016): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bruttobeschaefigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bruttobeschaefigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=9).
- Hirschl et al. (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene.  
[https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW\\_SR\\_210\\_Wertsch%C3%B6pfung\\_durch\\_erneuerbare\\_Energien\\_auf\\_Landes-\\_und\\_Bundesebene.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf).

Des Weiteren können öffentliche Aussagen der Branche sowie Branchenanalysen Dritter (Banken, Beratungsunternehmen, Studien) herangezogen werden. Die Wertschöpfung ist inflationsbereinigt in Preisen von 2015 anzugeben.

Für die Entwicklung der möglichen zukünftigen inländischen Wertschöpfung wird unterstellt, dass diese dem internationalen Marktpotenzial folgt. Verdoppelt sich dieses, so ist von einer Verdopplung der inländischen Wertschöpfung auszugehen.

Zur Abschätzung von Bandbreiten nach Tab. 3-19 ist bei diesem Ansatz eine überschlägige Abschätzung zu treffen, in welchem Verhältnis sich die inländische Wertschöpfung auf den globalen bzw. nationalen Markt aufteilt. Dies ist erforderlich, um etwa eine Einschätzung zum Exportpotenzial der deutschen Industrie abzugeben. Hierzu können Branchenschätzungen hinzugezogen werden. Die Leitfrage, die hierzu zu beantworten ist, ist die folgende: Welcher Anteil der Anlagenperipherie, der eigentlichen Technologieproduktion sowie verwandter Dienstleistungen für ein Technologiefeld in Deutschland ist für den nationalen Markt bestimmt und welcher Anteil jeweils für den Export? Sofern Schwierigkeiten bei der Quantifizierung auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen bestehen, kann vereinfachend allein auf die Technologieproduktion abgestellt werden. Ergibt diese Expertenschätzung etwa, dass 25 % der in Deutschland produzierten Güter und Dienstleistungen in Deutschland eingesetzt werden und 75 % für den Export bestimmt sind, so teilt sich die zukünftige Wertschöpfung ebenfalls in diesem Verhältnis auf.

### **Alternativ: Ansatz über eigene Abschätzungen**

Sofern keine einschlägigen Studien verfügbar sind, sind eigene Einschätzungen zu treffen. Dabei wird vom Marktpotenzial (Kriterium 3) auf das realisierbare Produkti-

onsvolumen bzw. den dadurch verursachten Umsatz in Deutschland heruntergebrochen:

- Aus Kriterium 3: *Marktpotenziale* liegen zunächst die möglichen globalen und nationalen Absatzpotenziale (minimaler bis maximaler Wert) vor.
- Das globale Marktpotenzial muss zunächst um diejenigen globalen Marktgebiete vermindert werden, bei denen aus heutiger Sicht davon ausgegangen werden kann, dass ein Produktabsatz nur begrenzt oder gar nicht möglich ist. Hierbei soll der Fokus auf handels- und wirtschaftspolitische Hemmnisse abzielen und nicht auf heutige Krisenregionen. Beispielsweise wären hier Schutzzölle oder andere staatliche Maßnahmen ausschlaggebend. Die Einschätzung für diese Einschränkung ist in knapper Form auf Basis von Prognosen, Studien, Verlautbarungen von staatlicher Seite usw. zu begründen.
- Für eine Abschätzung des künftigen Marktanteils von in Deutschland ansässigen Unternehmen am globalen Markt ist anschließend der aktuellste Wert darzustellen (idealerweise 2016). Der globale Marktanteil ist hierbei definiert als derjenige Teil der Güter und Dienstleistungen, der von in Deutschland produzierenden Unternehmen erbracht wird. Um einen möglichen Trend erkennen zu können, sollte wenn möglich auch der bisherige Verlauf der Marktanteile (ab 2010) dargestellt werden (Tab. 3-17, linker Teil). Hierbei ist auf öffentliche Aussagen der Branche sowie Branchenanalysen Dritter (Banken, Beratungsunternehmen, Studien) abzustellen (siehe hierzu die Hinweise auf Studien im Folgetext). Die Anteile sollten sich wie in Kriterium 3 auf GW oder Anzahl beziehen bzw. bei Effizienztechnologien auf TWh. Bitte geben Sie die jeweilige Quelle unter Angabe der Seitenzahl an. Sollten die bisherigen Marktanteile nicht ermittelbar sein, so sind überschlägige Abschätzungen für die Marktanteile zu treffen und zu begründen. Hier wäre beispielhaft eine Abschätzung der Marktanteile anhand der Firmenstruktur denkbar (Anteil deutscher Unternehmen an gesamten Unternehmen).

**Tab. 3-17 Analyse des bisherigen Marktanteils für das Technologiefeld X**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2020	2030	2040	2050
Marktanteil deutscher Unternehmen in Deutschland (in %)											
Marktanteil deutscher Unternehmen weltweit (in %)											

Zur Abschätzung der möglichen zukünftigen inländischen Wertschöpfung (Tab. 3-17, rechter Teil) dient anschließend zunächst die Bewertung der aktuellen Wettbewerbssituation Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern, um *zukünftige Marktanteile* extrapolieren zu können. Hierzu sollen folgende Leitfragen dienen:



- Ist die technische Kompetenz zur Entwicklung und zum Einsatz der Technologie im Inland an Forschungseinrichtungen und in Unternehmen vorhanden?
- Sind Produktionskapazitäten für die Technologie im Inland vorhanden?
- Sind Produktionskapazitäten mit ähnlichen Anforderungen bereits vorhanden, die ggf. umgestaltet werden könnten bzw. aus denen Erfahrungen für die (neue, zu bewertende Technologie) genutzt werden können?
- Gehört Deutschland zu den Weltmarktführern bezüglich der entsprechenden Technologie?
- Ist Deutschland innerhalb Europas Vorreiter bezüglich der Technologie?
- Gibt es Forschungsk Kooperationen für die Technologie auf nationaler Ebene oder international mit wesentlicher Beteiligung Deutschlands?
- Durch Anwendung der ermittelten Anteilswerte auf Tab. 3-6 und Tab. 3-8 ergeben sich die Marktpotenziale für deutsche Unternehmen in Deutschland und international:

**Tab. 3-18 Globales und nationales Marktpotenzial Deutschlands für Technologiefeld X**

Jahr	International				National			
	Szenarienbereich INT_2°C		Szenarienbereich INT_besser_2°C		Szenarienbereich DE_80%		Szenarienbereich DE_95%	
	GW bzw. TWh		GW bzw. TWh		GW bzw. TWh		GW bzw. TWh	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2014 - 2020								
2021 - 2030								
2031 - 2040								
2041 - 2050								

- Im letzten Schritt muss nun das inländische Produktionsvolumen (Anteil der inländischen Wertschöpfung der einzelnen Technologiefelder am internationalen und am nationalen Markt) ermittelt werden. Dabei werden soweit möglich direkte wie auch indirekte Effekte (vorgelagerte Industrien) berücksichtigt. Beispielsweise ist in Anlagenbau, Produktion der Technologie oder wesentlicher Teile, Vermarktung und Handel sowie Dienstleistungen zu differenzieren, um relevante Beiträge von in Deutschland ansässigen Unternehmen herauszuarbeiten (siehe Wirth 2016, S. 28ff). Zur Abgrenzung inländischer und ausländischer Wertschöpfung sind je Technologiefeld möglichst plausible Annahmen zu treffen. Die Wertschöpfung ist inflationsbereinigt in Preisen von 2015 anzugeben.

**Tab. 3-19 Inländische Wertschöpfung basierend auf Technologiefeld X hinsichtlich des globalen und des nationalen Absatzmarktes**

Jahr	International				National			
	Szenarienbereich INT_2°C		Szenarienbereich INT_besser_2°C		Szenarienbereich DE_80%		Szenarienbereich DE_95%	
	Mrd. € <sub>2015/a</sub>		Mrd. € <sub>2015/a</sub>		Mrd. € <sub>2015/a</sub>		Mrd. € <sub>2015/a</sub>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2014 - 2020								
2021 - 2030								
2031 - 2040								
2041 - 2050								

Neben den hier aufgeführten Ansätzen sind weitere praktikable Ansätze zur Abschätzung der inländischen Wertschöpfung denkbar. Beispielsweise könnte hierzu einerseits auf die Marktanteile deutscher Unternehmen am internationalen Markt abgestellt werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, Vorketten sowie Anlagen-peripherie nicht oder nur in Teilen einzubeziehen, sofern dies Schwierigkeiten bei der Quantifizierung bereitet. Den Technologiepartnern ist es offen gehalten, alternative Ansätze zu wählen, sofern diese hinreichend dargestellt und begründet werden. Ist eine Quantifizierung nicht möglich, sollte eine qualitative Einschätzung erfolgen.

### 3.3.7 Kriterium 8: Stand und Trends von Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich

Definition des Kriteriums	Qualitative Einschätzung der internationalen Aufstellung der deutschen Industrie und quantitative Analyse der F&E-Budgets sowie des F&E-Outputs
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll erfasst werden, wie Deutschland industrieseitig im Vergleich zu anderen Ländern aufgestellt ist und wie sich die hiesige F&E-Landschaft von der anderer Länder unterscheidet.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland im Vergleich zur internationalen Situation
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Internat. Aufstellung: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> F&E-Budgets: Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Publikationsanalyse: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> Patentanalyse: Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das erste Teilkriterium soll als Expertenschätzung angegeben werden. Das zweite und dritte Teilkriterium sollte quantitativ angegeben werden. Die Berechnungen basieren auf belegbaren Analysen und sind nachvollziehbar darzustellen (Berechnungsdaten werden offengelegt). Die Publikationsanalyse kann z. B. mittels scopus und einer geeigneten Auswahl von Schlagworten durchgeführt werden. Für die Patentanalyse kann der (in einer eingeschränkten, jedoch hinreichend verwendbaren Version öffentlich zugängliche) Service DEPATISnet des Deutschen Patent- und Markenamtes verwendet werden ( <a href="https://www.dpma.de/service/e_dienstleistungen/depatismet">https://www.dpma.de/service/e_dienstleistungen/depatismet</a> ). Die Syntax ist in der Expertenrecherche des DPMA beschrieben und eine Beispielanwendung ist u.a. in <i>Zipp und Groß (2015)</i> zu finden, siehe den dortigen Anhang A. Alternativ kann eine Software wie z.B. Patseer verwendet werden ( <a href="http://patseer.com/">http://patseer.com/</a> ).
Alternatives Vorgehen	Keines

Mit diesem Kriterium soll erfasst werden, wie Deutschland industrieseitig im Vergleich zu anderen Ländern aufgestellt ist und wie sich die hiesige F&E-Landschaft von der anderer Länder unterscheidet.

#### Teilkriterium 8.1 Internationale Aufstellung der deutschen Industrie

Das erste Teilkriterium fragt, welche Erfahrungen es seitens der Industrie gibt, die Technologien in die internationalen Zielmärkte zu bringen. Die Bedeutung und der Status der Technologien soll anhand der relativen Position Deutschlands in diesem Technologiefeld betrachtet werden, d. h. es ist zu beurteilen, inwiefern eine Technologieführerschaft oder ein Zurückhängen hinter anderen Ländern zu erkennen ist. Dies kann der Vergleich zu einem jeweils technologieführenden Land bzw. einer Gruppe von in diesem Bereich seitens Industriepolitik und F&E besonders aktiven Länder sein. Technologieabhängig kann es hierbei sinnvoll sein, die Technologien in Teilaspekte differenziert zu betrachten.

**Tab. 3-20 Internationale Aufstellung der deutschen Industrie hinsichtlich des Technologiefeldes X**

**Welchen Status hat die deutsche Industrie hinsichtlich Know-how innerhalb dieses Technologiefeldes weltweit?**

Technologiefeld ☐ Technologieführerschaft ☐ wettbewerbsfähig  
☐ nur in Einzelanwendungen konkurrenzfähig ☐ abgeschlagen

Falls nicht auf Ebene des Technologiefeldes, sondern einzelne, relevante Technologien innerhalb des Technologiefeldes bewertet werden sollen, bitte diese Tabelle jeweils kopieren.

Da es sich bei Forschung und Entwicklung stets um Aktivitäten handelt, die in einen noch mindestens teilweise unbekannten Bereich hinein operieren, lässt sich hier kein objektiver Absolutheitsstatus angeben. Was allerdings möglich ist, sind internationale Vergleiche und Trends, die dann für Deutschland ein relatives Bild bezogen auf die jeweilige Technologie zeichnen. Neben einer vergleichenden Betrachtung des erbrachten *Aufwands (Input-Aspekt)* ist insbesondere von Interesse, welche *Aktivitäten* daraus resultieren (*Output-Aspekt*).

### **Teilkriterium 8.2 F&E-Budgets (Bearbeitung verpflichtend)**

Für die *Input-Betrachtung* der F&E wird die Entwicklung öffentlicher F&E-Budgets im jeweiligen Technologiefeld aufgezeigt und international verglichen (Tab. 3-21).

Für die Darstellung von Trends ist in der jeweiligen Zeile anzugeben, auf welche Zeiträume Bezug genommen wird, z. B. „Zeitlicher Trend (2011-2015)“.

Für die F&E-Budgets sollten wo anwendbar die IEA-Datenbank und die dort aufgelisteten RD&D-Budgets (Research, Development & Demonstration) verwendet werden:

[http://wds.iea.org/wds/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS\\_referer=&CS\\_ChosenLang=en](http://wds.iea.org/wds/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS_referer=&CS_ChosenLang=en)

Eine erläuternde Beschreibungen und Dokumentationen sind dort unter

<http://wds.iea.org/WDS/tableviewer/document.aspx?FileId=1567>

und

<http://wds.iea.org/WDS/tableviewer/document.aspx?FileId=1525>

zu finden.

Da die IEA-Kategorisierung der RD&D-„flows“ oftmals nicht deckungsgleich mit den im Projekt betrachteten Technologiefeldern ist, muss stets (inkl. Erläuterung) angegeben werden, welche Kategorien berücksichtigt werden. Sofern sich das gewählte Technologiefeld nicht angemessen in den Daten abbilden lässt, sollen andere Quellen zurate gezogen werden.

**Tab. 3-21 Bewertung des Standes von Forschung und Entwicklung für das Technologiefeld X – Input-Orientierung**

	Einheit	Wert
Entwicklung des öffentlichen F&E-Budgets auf Bundesebene im jeweiligen Technologiefeld - Deutschland		
Absolutangabe der öffentlichen F&E-Förderung der jeweiligen Technologie Status Quo (2015)	€	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ €/a	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ %/a	
Gesamtes öffentliches Energie-F&E-Budget nach IEA Status Quo (2015)	€	
Relativer Anteil am gesamten öffentlichen Energie-F&E-Budget nach IEA Status Quo (2015)	%	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ %/a	
Entwicklung des öffentlichen F&E-Budgets auf Bundesebene im jeweiligen Technologiefeld – Internationaler Vergleich		
F&E-Förderung der jeweiligen Technologie im OECD-Durchschnitt und/oder im Vgl. mit im Technologiefeld besonders aktivem Land/Ländern (ggf. nachfolgende Zeilen kopieren)		
(Vergleichsland 1)		
Absolutangabe der öffentlichen F&E-Förderung der jeweiligen Technologie Status Quo (2015)	€	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ €/a	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ %/a	
Gesamtes öffentliches Energie-F&E-Budget nach IEA Status Quo (2015)	€	
Relativer Anteil am gesamten öffentlichen Energie-F&E-Budget nach IEA	%	
Zeitlicher Trend (Veränderung über mindestens die letzten 5 Jahre)	+ %/a	

Für Deutschland beinhalten die Daten die Bundesförderung durch das sechste Energieforschungsprogramm. Sie beinhalten nicht die Förderaktivitäten durch die Bundesländer. Für ein umfassenderes Bild wäre deren Einbeziehung wünschenswert, ist jedoch ob des zusätzlichen Aufwands als optional anzusehen. EU-Mittel sind in dieser Betrachtung ebenfalls noch nicht enthalten, dies stellt eine wesentliche Limitierung der Betrachtung dar, da laut IEA für 2015 die Förderung durch die Europäische Kommission ca. 1,3 Milliarden € betrug. Die 15 berichtenden IEA-Mitgliedsstaaten der EU brachten 2014 im Vergleich durch nationale Programme eine Gesamtförderung von 3,6 Milliarden € auf; zudem ist die Verteilung auf Technologiefelder zwischen diesen administrativen Ebenen deutlich unterschiedlich gewichtet.

Aussagen basierend auf den für Deutschland verfügbaren IEA-Daten liefern somit kein umfassendes Bild der F&E-Förderung innerhalb Deutschlands, sondern lediglich Aussagen über den von der Bundesregierung erbrachten Anteil.

Die für Deutschland verfügbaren RD&D-Daten beziehen sich auf Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Demonstrationsprojekte.

### Teilkriterium 8.3 F&E-Outputs (Bearbeitung optional)

Betrachtet werden soll hier der Bereich *akademischer Forschung* mit daraus resultierenden Publikationen oder der anwendungsnähere (und stärker kommerzialisierungsorientierte, oftmals in Firmenstrukturen eingebundene) *Bereich der Entwicklung* mit oftmals damit verknüpften Patenten als aussagekräftiges Charakteristikum. Dabei ist zu beachten, dass sowohl die Patent- als auch die Publikationspraxis sich zwischen verschiedenen Ländern und Branchen unterscheiden kann. Dennoch dürfte ein Hinweis auf den Transfer von Grundlagenforschung in die kommerzielle Entwicklung möglich werden. Dazu werden der aktuelle relative Anteil an Veröffentlichungen bzw. Patenten in Prozent im internationalen Vergleich sowie ein zeitlicher Trend (Steigerungs- bzw. Sinkrate) als Indikatoren herangezogen.

- 1 | Für die Analyse der Technologie-Forschung ist dies eine quantitative Analyse der relativen *Anzahl akademischer Publikationen* zur betrachteten Technologie durch deutsche Universitäten und Forschungsinstitute im internationalen Vergleich. Die Verortung der/des Leitautors/in ist bei Scopus nicht abfragbar, weshalb hilfsweise die Beteiligung einer in Deutschland angesiedelten Institution als Kriterium herangezogen wird.
  - Hierzu wird die zeitliche Entwicklung betrachtet, die über einen linearen Trend der relativen Publikationsanzahl in etablierten wissenschaftlichen Journals im Technologiefeld über die letzten mindestens fünf Jahre erkennbar wird.
  - Diese Größen werden stets in Bezug gesetzt mit der Absolutanzahl im Rest der Welt bzw. ggf. auch mit ausgewählten als relevant erachteten Ländern.
  - Als Basis für eine quantitative Analyse z. B. mittels Scopus sollte vom jeweiligen Bearbeitenden eine Liste relevanter Schlagworte für das Technologiefeld erstellt werden.
- 2 | Für den Stand der Technologie-Entwicklung ist eine ergänzende *Patentanalyse* möglich<sup>2</sup>.
  - Diese wird ebenfalls wieder auf relativer Basis im Vergleich mit Absolutanzahl/Rest der Welt bzw. ggf. auch mit ausgewählten als relevant erachteten Ländern durchgeführt.
  - Es sollte ein Trend über mindestens fünf Jahre aufgestellt werden, um die relative Entwicklung im internationalen Vergleich abzubilden.

Alle Analysen können bei Bedarf um Experteninterviews ergänzt werden. Für die Publikations- und Patentrecherche finden sich auf den Folgeseiten detaillierte Anleitungen.

---

<sup>2</sup> Als Beispiel für eine Patentanalyse kann Gridlogics (2014) herangezogen werden. Zur Analyse aller Patente und Anwendungen im Zeitraum von 2004 – 2014 in den USA hinsichtlich Gallium Nitride wurde als Software Patseer <http://patseer.com/> verwendet (englisch, nur trial-Version kostenlos). Ein weiteres Beispiel (mittels DEPATISnet des Deutschen Patent- und Markenamtes) ist in Zipp und Groß (2015) zu finden. "Dort wurde auf die IKOFAX-Recherche zurückgegriffen, die eine eigene Syntax für professionelle Datenrecherche bietet. Der öffentliche Zugang ist begrenzt auf 1000 detaillierte Treffer pro Suche und die gefundene Patentliste lässt sich nur seitenweise, d. h. mit maximal 250 Treffern, exportieren. Daher wurde die Suche soweit wie möglich eingegrenzt und die Ergebnisse auf die Anzahl der Treffer beschränkt." Dort befindet sich auch ein Beispiel für eine ausformulierte Eingabe mit Hilfe der IKOFAX-Syntax für Brennstoffzellen in Deutschland im Jahr 2006.

**Tab. 3-22 Bewertung von Stand und Trends der Forschung und Entwicklung für das Technologiefeld X – Output-Orientierung**

	Einheit	Wert
Akademische Publikationen als Forschungsindikator		
(Relativer) Anteil der in Deutschland geschriebenen Publikationen am weltweiten Aufkommen beim Status Quo (2014)	Absolutwert	
	% bzgl. Welt	
Zeitlicher Trend (über mindestens 5 Jahre)	%/a bzgl. Absolutwert	
	%/a bzgl. Relativwert	
Patente (nach Anmeldejahr) als Entwicklungsindikator		
Relativer Anteil der von deutschen Firmen/Privatpersonen und Institutionen eingereichten Patente am weltweiten Aufkommen beim Status Quo (2014)	Absolutwert	
	% bzgl. Welt	
Zeitlicher Trend (über mindestens 5 Jahre)	%/a bzgl. Absolutwert	
	%/a bzgl. Relativwert	

*Detaillierte Anleitung zur Publikationsrecherche mittels Scopus:*

Die Erläuterungen beziehen sich zwar auf die Bearbeitung in Scopus, können aber weitgehend auch in anderen Tools verwendet werden.

Mittels Scopus lassen sich Schlagworte auf verschiedene Weise miteinander kombinieren, wodurch eine aussagekräftige Gesamtbetrachtung möglich wird.

Deswegen sollten die Schlagworte in zwei Kategorien unterteilt werden (am besten geschieht dies von einer mit dem Technologiefeld vertrauten Person, Wissen über die Analysesoftware ist hierfür nicht nötig):

- umfassende / grobe Schlagworte, die über das Technologiefeld deutlich hinaus gehen und durch "UND"-Kombination (in Scopus << „A“ AND „B“ AND „C“ >> ) mit weiteren derartigen Schlagworten zur Erstellung einer Schnittmenge herangezogen werden können. So ist das Schlagwort "Methanol" für den Bereich "Gas to Chemicals" zu umfassend, da es auch Suchergebnisse aus Fachbereichen jenseits der Energieforschung liefert – beispielsweise zur Gefahr von Augenschädigungen durch Methanol in Getränken oder zur elektrolytischen Synthese von diamantartigen Beschichtungen in Methanollösung. Entsprechend ist z.B. eine "UND"-Kombination mit Schlagworten wie "Synthetic Fuels", "Electricity", "Energy", ... sinnvoll. Die Schnittmenge dieser Begriffe sollte

dann überwiegend innerhalb des relevanten Technologiefeldes liegen und kaum noch (idealerweise: gar keine) Publikationen außerhalb dessen beinhalten.

- stark fachspezifische Schlagworte, die lediglich innerhalb des Technologiefeldes vorkommen, dieses allerdings nicht vollständig abdecken. Solche Schlagworte lassen sich durch ein einschließendes "ODER" zusammenfassen (in Scopus << „D“ OR „E“ OR „F“ >> ). Dies deckt dann alle Publikationen ab, in deren Titeln, Abstracts oder Keywords zumindest einer der Begriffe vorkommt.

Das Ausschließen von Themenbereichen ist in Scopus lediglich auf eine gesamte Suche bezogen möglich, nicht auf einen einzelnen Suchbegriff. Entsprechend kann „Methanol“ nicht darauf beschränkt werden z.B. Medizin und Nanotechnologie auszuschließen, während diese Bereiche für einen anderen Begriff innerhalb der selben Suche erlaubt blieben.

Eine rasche einzelne Prüfung eines jeden Suchbegriffs ist sehr sinnvoll, um dessen Weite zu erfassen. Das wird schon ohne weitere Analyse durch einen Blick auf die Gesamtzahl der Publikationen und die Verteilung der Ergebnisse auf verschiedene Themen erkennbar. Tritt der Begriff in relevanter Anzahl z.B. auch in „Psychologie“ oder „Soziologie“ auf, dann dürfte er zu weit gewählt worden sein und bedarf einer Einschränkung („AND“).

Eine Verknüpfung dieser beiden Kombinationen ist mittels Klammern möglich, so dass die Schnittmenge der groben Begriffe in die Gesamt-Sammlung mit einfließen kann:

(„A“ AND „B“ AND „C“ ) OR „D“ OR „E“ OR „F“ .

Die Autorenschaft betreffend ist Scopus offenbar nur in der Lage auszuwerten, ob eine Publikation unter Beteiligung einer in einem bestimmten Land (z.B. Deutschland) angesiedelten Institution zustande kam, jedoch nicht, ob es sich hierbei um die\*den Hauptautor\*in handelt oder eine andere Person.

Solange es klar erkennbar ist, welches Kriterium zum Verorten der Publikationen gewählt wurde, ist dies ein legitimes und hinreichend aussagekräftiges Vorgehen.

Um den Aufwand handhabbar zu halten, empfehlen wir diese Vorgehensweise.

Die relativen Publikationszahlen (Anzahl mit deutscher Beteiligung relativ zur weltweiten Gesamtzahl) müssen über zwei nacheinander ablaufende Suchen erzeugt werden, entsprechend bietet es sich an, eine (Excel-)Tabelle anzulegen, mittels copy & paste ist ein Übertragen der gesamten Zeitreihe problemlos möglich.

Für die zeitliche Entwicklung der Publikationszahlen bietet Scopus eine jahresscharfe Analyse an, hierfür sind keine einzelnen Abfragen notwendig. Damit ist es ohne weiteren Aufwand möglich, eine Visualisierung der (absoluten und relativen) Publikationszahlen zu erstellen.

Zu Bestimmung des linearen Trends ist ein linearer Fit über mindestens die letzten fünf Jahre anzusetzen (also nicht nur die Differenz der Veröffentlichungen in z.B. den Jahren 2013 und 2009, sondern Einbeziehung aller im Betrachtungszeitraum liegender Jahre). Ob ein längerer Zeitraum aussagekräftiger ist, lässt sich nur auf das einzelne Technologiefeld bezogen betrachten – hierfür ist die vorher erwähnte Visua-



lisierung hilfreich (Publikationen über den Jahren aufgetragen). Bei großer Dynamik und viel Veränderung in den letzten Jahren würde ein auf wesentlich mehr Jahre bezogener Trend die tatsächliche Dynamik verschleiern.

Die Publikationsdaten beziehen sich stets auf das Datum der Druckversion. Durch verzögerte Aufnahmen in die Datenbank erscheinen die Daten nach dem Jahr 2014 bislang weniger verlässlich zu sein, entsprechend ist für die statistische Auswertung der Scopus-Daten 2014 als das aktuellste zu berücksichtigende Jahr anzusetzen.

Falls erforderlich kann das WI anbieten, die Scopus-Recherche für Projektpartner zu unterstützen. Die fachliche Kompetenz hinsichtlich der Erstellung der Suchkriterien (Schlagworte) ist hierfür allerdings unerlässlich, und eine Zusammenarbeit zur Verfeinerung der Schlagworte (z.B. mittels Konferenzschaltung) ist dann angeraten.

*Detaillierte Anleitung zur Patentrecherche mittels DEPATISnet:*

<https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?window=1&space=menu&content=index&action=index>

bzw.

[https://www.dpma.de/service/e\\_dienstleistungen/depatisnet/](https://www.dpma.de/service/e_dienstleistungen/depatisnet/)

Verschiedene Masken bieten online erfahrungsabhängige Möglichkeiten an. Eine jahresscharfe Auswertung bis einschließlich 2016 ist in der öffentlich zugänglichen Version möglich, die Patentanmeldungen für Deutschland können durch die Eingabe von „DE“ im Anmelderfeld selektiert werden (ohne Eingabe werden alle eingetragenen Patente weltweit betrachtet). Auch hier besteht die Möglichkeit, mittels Bool'scher Operatoren („AND“/„OR“ etc.) die Suche zu verfeinern.

Es werden verschiedene Suchmasken angeboten, wobei die Masken „Experte“ und „Ikofax“ die angemessensten Möglichkeiten bereitzustellen scheinen. „Experte“ hat zudem den Vorteil, dass die Code-Eingabe durch vorgefertigte anklickende Bausteine unterstützt werden kann. Zudem ist in der „Experte“-Maske eine umfangreiche erläuternde Hilfe hinterlegt.

Die Syntax erschließt sich recht leicht, beispielhaft sei sie hier dargestellt:

Für eine Suche nach entweder „Power to Liquid“, oder „Fischer-Tropsch“, oder „Methanol“ zusammen mit „Fuel“ für Patente mit dem Anmeldedatum (AD) 2012 lautet der Code dann

*AB = (Power(W)to(W)Liquid ODER Fischer(W)Tropsch ODER (Methanol UND Fuel) UND AD <= 01.01.2012 UND AD <= 31.12.2013 UND PA = DE*

Der letzte Part („UND PA = DE“) schränkt die Ergebnisse auf deutsche Anmelder oder Inhaber der Patente ein. Wird dieser weggelassen, beziehen sich die Ergebnisse auf alle Anmelder/Inhaber weltweit ( - die Suche nach Deutschland als Anmelde-land wäre analog mit dem Operator „AC=DE“ zu machen).

Das „(W)“ ist ein verbindender Operator, um mehrere zusammengehörige Worte zu kennzeichnen.

Da das Publikationsdatum („PUB“) z.T. deutlich nach dem Anmeldedatum („AD“) liegen kann, bildet das Anmeldedatum eine zeitlich repräsentativere Perspektive an.

Auch wenn nicht alle eingereichten Patente dann tatsächlich akzeptiert und veröffentlicht werden, erscheint das am Anmeldedatum orientierte Vorgehen empfehlenswerter.

Die Zeitspanne zwischen Anmeldung und Veröffentlichung scheint für einen Großteil der Patente oftmals unter bis knapp über einem Jahr zu liegen und danach ca. exponentiell abzuklingen. Da lediglich veröffentlichte Patente in der Datenbank aufzufinden sind, weisen die Anmeldezahlen für 2016 einen deutlichen Einbruch auf. Die Zahlen für 2015 sind demgegenüber schon deutlich belastbarer und sollten mit berücksichtigt werden. Die Zahlen für 2014 erscheinen so stabil, dass die Analyse auf diese (und den aus den Vorjahren abzulesenden Trend) gegründet sein sollte. Dies erhöht zudem die Vergleichbarkeit mit der auf 2014 bezogenen akademischen Publikationsanalyse.

Um ggf. auftretende starke aktuellere Veränderungen mit zu berücksichtigen, sollte allerdings auch die Situation für 2015 mindestens qualitativ berücksichtigt werden.

Auch zur Patentanalyse kann das WI auf Nachfrage hin Unterstützung anbieten, z.B. um den Projektpartnern die erfolgreiche eigene oder ggf. gemeinsame Durchführung dieses Schrittes zu ermöglichen.

### Gruppe III: Technologieoffenheit & Systemaspekte

#### 3.3.8 Kriterium 9: Gesellschaftliche Akzeptanz

Definition des Kriteriums	Das Kriterium erfasst die öffentliche Akzeptanz eines Technologiefeldes bzw. einer Technologie auf lokaler Ebene sowie übergeordnet in Wirtschaft und Gesellschaft.
Ziel des Kriteriums	Das Kriterium hilft einzuschätzen, wie stark mit Unterstützung oder Konflikten bei einem weiteren Ausbau zu rechnen ist, so dass Bedarf für flankierende Maßnahmen bei besonders konflikthaften Technologien identifiziert werden kann.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland; im Einzelfall können auch internationale akzeptanzrelevante Einflüsse (z. B. Marktakzeptanz oder Abbaubedingungen benötigter Rohstoffe) berücksichtigt werden.
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie ( <input checked="" type="checkbox"/> )
Bearbeitungspriorität	Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Die Einschätzung erfolgt auf Basis des eigenen Expertenwissens oder zitierter Literatur und wird im Begleittext begründet.
Alternatives Vorgehen	Wenn eine Einschätzung nicht möglich ist, sollte der Akzeptanz-Ansprechpartner kontaktiert werden.

#### Grundlagen zum Akzeptanzbegriff

Die Energiewende kann nur als Gemeinschaftswerk von Bürgern, Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft gelingen. Diese Akteursvielfalt mit multiplen Rollen, Perspektiven und Verantwortlichkeiten bedingt eine Reihe an Interessens-, Ziel- und Ebenenkonflikten zwischen den involvierten Gruppen. Ebenso ist für die Umsetzung der avisierten Veränderungsmaßnahmen eine breite Akzeptanz möglichst vieler

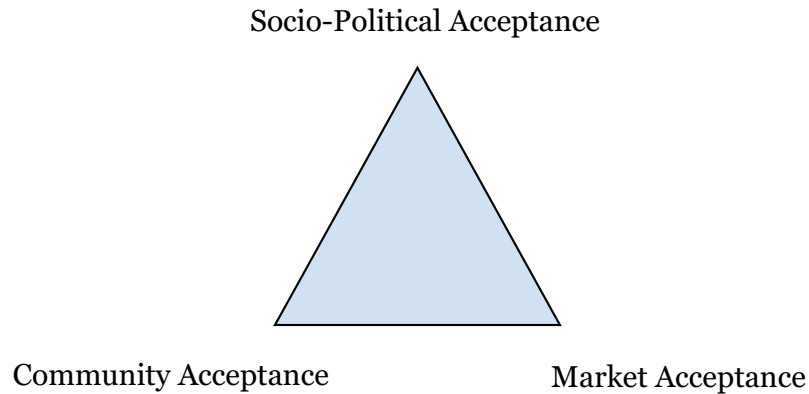
unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteursgruppen notwendig. Dabei ist es nicht ausreichend, ausschließlich auf die öffentliche Akzeptanz im Sinne der Zustimmung innerhalb der Bevölkerung oder betroffener Anwohner zu zielen, vielmehr bedarf es ebenso der aktiven Unterstützung, der klaren Positionierung und des positiven Wirkens übergeordneter Entscheidungsträger aus Politik, Verwaltung und Wirtschaft. Dies gilt sowohl für Energieerzeugung als auch -nutzung, dementsprechend sind auch die Anzahl (potentieller) Käufer oder Anwender von Innovationen akzeptanzrelevante Indikatoren. Als Akzeptanz-Objekt und damit Gegenstand der Wahrnehmung- und Bewertungsprozesse steht das jeweilige Technologie-Projekt mit seinen projektspezifischen Eigenschaften im Zentrum, welche sich auf Betroffenheit und Bewertung auswirken.

Relevante Kategorien in diesem Zusammenhang sind u. a. Veränderungen der (gewohnten) Lebensumwelt (Landschaftsbild, Ortsbindung), tatsächliche oder befürchtete Risiken für Natur und Mensch (Vogelschlag, Gerüche, Lärm, Infraschall, Unfälle) sowie auch mögliche wirtschaftliche Vor- und Nachteile (EEG-Vergütung, sinkende Immobilienpreise). Einen besonderen Akzeptanzfaktor stellen die Beteiligungsmöglichkeiten für alle Akteursgruppen in energierelevanten Planungs- und Entscheidungsprozessen dar, welche die wahrgenommene Verfahrensgerechtigkeit beeinflussen. Diese Kontextabhängigkeit des Akzeptanzurteils vom Einführungsprozess sowie von wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen, der räumlichen Ebene sowie der befragten Akteursebene erschweren generalisierbare Aussagen bzw. zeigen die Grenzen der Aussagen ohne Kontextualisierung und Konkretisierung nach Bedingungen auf. Zudem ist die zeitliche Dimension zu beachten – Akzeptanzurteile können sich über die Zeit und gerade im Zusammenhang mit gesellschaftlichen Diskursen verändern (Beispiel Biomasse, Nachhaltigkeitsdiskussionen in Deutschland und weltweit um Rohstoffe versus Nahrung). Bei der Einschätzung des Kriteriums Akzeptanz kann es folglich nur um Tendenzen gehen, die auf Basis bisher verfügbarer Daten und den wahrscheinlichen technologischen Entwicklungen abzusehen sind.

In diesem Zusammenhang sind verschiedene Einteilungen möglich. Ein relativ überschaubares und praktikables Konzept ist das Modell von Wüstenhagen et al. (2007), welches in Abb. 3-2 dargestellt ist. Dieses Dreieck der „Social Acceptance“ umfasst drei Ebenen:

- *Community Acceptance*, auch lokale Akzeptanz genannt, umfasst die Wahrnehmung und Reaktion vor Ort und steht in engem Zusammenhang mit Verfahrensgerechtigkeit und Verteilungsgerechtigkeit bei Planungs- und Entscheidungsprozessen sowie Vertrauen von Anwohnenden auf lokaler Ebene. Diese ist von besonderer Bedeutung im Zusammenhang mit der Platzierung von Anlagen.
- *Market Acceptance* stellt die Ebene der Investoren und Konsumenten dar sowie die intra-organisationale Perspektive (z. B. inwieweit sich Firmen auf erneuerbare Energien in ihrer Unternehmensstrategie einstellen). Deutlichster Indikator ist jeweils die Diffusion einer Technologie, z. B. inwieweit Elektrofahrzeuge tatsächlich gekauft werden.
- *Socio-Political Acceptance* bezieht sich auf das gesellschaftliche Klima bezüglich einer Technologie und ist beeinflusst von der breiten Öffentlichkeit, Politikern

und besonders auch von weiteren Schlüsselpersonen und ist somit zugleich gewissermaßen die Summe von und der Rahmen für Community und Market Acceptance.



---

**Abb. 3-2 Betrachtungsebenen der Akzeptanz**

*Quelle: IZES nach Wüstenhagen et al. (2007:2684)*

Diese Differenzierung in die verschiedenen Betrachtungsebenen ist für generelle Aussagen über Akzeptanzverteilungen in einer Gesellschaft sehr wichtig, um die Daten oder Aussagen den entsprechenden Geltungsbereichen zuordnen zu können. Beispielsweise sagt die erhobene Zustimmung zur Windkraftnutzung in einer Gemeinde noch wenig aus über das gesamtgesellschaftliche Image oder die Einschätzung und den Aktivitätsgrad der wirtschaftlichen Akteure in diesem Technologiefeld. Für jedes Technologiefeld, ggf. auch für einzelnen Technologien, ist diese Dreiteilung nach folgender Tab. 3-23 zu bewerten:

**Tab. 3-23 Bewertungsraster für die Akzeptanz von Technologiefeld X zum Status Quo (2015)**

Technologien	Ebene Markt		Ebene Gesellschaft		Lokale Ebene	
	<b>Marktakzeptanz</b>		<b>Sozialpol. Akzeptanz</b>		<b>Lokale Akzeptanz</b>	
	<b>Kunden, Haushalte, Nutzer, Industrie: Wie viel investieren Marktakteure?</b>		<b>Sozio-politische Entwicklungen, gesellschaftliche Stimmung / Diskurse; Image</b>		<b>Lokale Konflikte, Klagen, Aktivitäten von Bürgerenergie</b>	
	Bewertung	Begründung/ Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/ Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/ Quelle (Studien)

Technologiefeld

Bewertung mittels 5-stufiger Skala: Hohe Akzeptanz (1), eher hohe Akzeptanz (2), mittlere Akzeptanz (3), eher niedrige Akzeptanz (4), niedrige Akzeptanz (5)

Falls nicht auf Ebene des Technologiefeldes, sondern einzelne, relevante Technologien innerhalb des Technologiefeldes bewertet werden sollen, bitte diese Tabelle jeweils kopieren.

### Leitfragen zur Einschätzung des Kriteriums

Als Grundlage zur Einschätzung des Kriteriums ist vorzugsweise vorhandenes Wissen aus verfügbaren Studien zu nutzen, ansonsten stellt das Expertenwissen in dem jeweiligen Technologiebereich die Grundlage der Bewertung dar. Wie oben angesprochen, stellt der Planungsprozess einen wichtigen Einflussfaktor auf die Akzeptanz dar, die damit verbundene Verfahrensgerechtigkeit ist jedoch nicht technologie-spezifisch und sollte daher nicht in die Bewertung einbezogen werden; es ist bei der Bewertung quasi von einem „optimalen“ Planungs- und Genehmigungsverfahren auszugehen.

Wenn Akzeptanz für eine Technologieform als nicht relevant oder als nicht einschätzbar angesehen wird, kann dies angegeben werden. Prinzipiell ist es aber das Ziel, alle Technologien zu bewerten. Rückfragen bei Unklarheiten bezüglich der Bewertung können jederzeit an den Akzeptanz-Ansprechpartner gestellt werden.

Die folgenden Leitfragen sollen bei der Bewertung in Betracht gezogen werden bzw. die Einschätzung der Akzeptanzentwicklungen anleiten. Eine kurze ausformulierte Begründung der jeweiligen Bewertung ist dabei für das spätere Review für die Nachvollziehbarkeit wünschenswert.

- 1 | Welche Differenzierungen sind in Ihrem Technologiefeld hinsichtlich der Akzeptanzeinschätzung vorzunehmen? Was ist das konkrete „Akzeptanzobjekt“ (Beispiel Windenergie: On- und Offshore-Anwendungen weisen aus Akzeptanzperspektive unterschiedliche Eigenschaften auf, sodass sie bei der Einschätzung getrennt betrachtet werden sollten)?

Ideen hierzu sind:

- 1.1 Biomasse: Beachtung der Substratabhängigkeit, beispielsweise Abfall versus Nawa-ro
- 1.2 Geothermie: Hydro- vs. petrothermale Systeme
- 1.3 Photovoltaik: Dachfläche versus Freifläche

- 1.4 Solare Wärme/Kälte: Dachfläche versus Freifläche (Beispiel Dänemark – Freiflächen mit quartiersbezogenen Wärmespeichern)
  - 1.5 Solarthermische Kraftwerke: Spiegel versus Solarturm; für Deutschland eher Marktakzeptanz und sozialpolitisch relevant sowie Importabhängigkeit, lokale Ebene eher nicht, da nicht in Deutschland genutzt
  - 1.6 Windenergie: Offshore versus Onshore; Anlagengröße (sowohl Windparks versus einzelne Windräder, Nabenhöhe)
  - 1.7 Wärmepumpe: Fokus Kunde (Kauf- und Investitionsbereitschaft, Anreizstruktur)
  - 2.1 Konventionelle Kraftwerke: Steinkohle versus Braunkohle (Tagebau) versus Gas
  - 2.2 Dezentrale Kraftwerke: Brennstoffzellen stationär versus mobil (nur Exkurs); bei BHKW Fokus Kunde (Kauf- und Investitionsbereitschaft, Anreizstruktur)
  - 2.3 CCS: Quelle (woher stammt das CO<sub>2</sub>) für Akzeptanz relevant, Speicherungsfrage zentral
  - 3.1 Stromnetz: Freileitung versus Erdkabel
  - 3.3 Energiespeicher: bei Pumpspeichern unter- versus oberirdisch (vergleiche Diskussion Atdorf)
  - 4.1 Power-to-Gas: Frage relevant, ob es sich um „erneuerbaren“ Wasserstoff handelt (Überschussstrom)
  - 5.1 Energieeffiziente Gebäude: Ebenen Privathaushalt, öffentliche und gewerbliche Nutzung; Fokus Kunde (Kauf- und Investitionsbereitschaft, Anreizstruktur)
  - 6.1 Energieeffiziente Prozesstechnologien: Marktakzeptanz wesentlich
- 2 | Welche akzeptanzrelevanten Effekte (Landschaftsveränderungen/-verbrauch, Veränderung von Akteursstrukturen, Betroffenheiten von Akteuren durch u. a. Risikowahrnehmungen, Gesundheitsfragen, Kosten-Nutzen (Verteilungsgerechtigkeit, steigende Strompreise, fallende Immobilienpreise) sind für die bewerteten Technologien für den Status Quo (2015) und bis 2030 zu erwarten? Dabei sind insbesondere mögliche Einflüsse zeitlicher Entwicklungen auf die Akzeptanz zu beachten, da sie auf die wahrgenommenen Ausbauschwellen (Sichtbarkeit/Betroffenheit/ Dichte/ Abstände/ Preise-Economies of Scale) wirken können:
- stärker zentrale oder dezentrale Verteilungen
  - zunehmende Anlagengröße und Anlagenzahl
- 3 | Bei welchen Technologien sollte zukünftig ein besonderer Fokus auf die Akzeptanzentwicklung gelegt werden, da sie besonders sensitiv erscheinen (z. B. auf allen drei Akzeptanzebenen Konflikte erwartet)? Hier ergibt sich Forschungs- und Monitoringbedarf bzgl. Akzeptanz.

Die Bewertung für den Status Quo ist auf einer fünfstufigen Skala durchzuführen

- 1 – hohe Akzeptanz/ keine Konflikte/ problemfreie Marktdiffusion zu erwarten bis
- 5 – sehr niedrige Akzeptanz/ viele Konflikte/ schwierige Marktdiffusion zu erwarten).
- Eine 3 würde dementsprechend eine mittlere/teils-teils Einschätzung bedeuten.

- Falls Akzeptanz als nicht relevant eingeschätzt wird bzw. nicht einschätzbar ist, bitte eine 0 mit entsprechender kurzer Erklärung/Studienverweisen einfügen.

### Bewertungsbeispiel Photovoltaik

Tabellen-Beispiel Exemplarisches Bewertungsraster für Status Quo (2015) des Technologiefeldes Photovoltaik

Technologien	Ebene Markt		Ebene Gesellschaft		Lokale Ebene	
	Marktakzeptanz		Sozialpol. Akzeptanz		Lokale Akzeptanz	
	Kunden, Haushalte, Nutzer, Industrie: Wie viel investieren Marktakteure?		Sozio-politische Entwicklungen, gesellschaftliche Stimmung / Diskurse; Image		Lokale Konflikte, Klagen, Aktivitäten von Bürgerenergie	
	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)
PV Dach	Eher hohe Akzeptanz (2)	Prinzipiell gut, aber nur noch mit hohem Eigenverbrauch attraktiv.	Mittlere Akzeptanz (3)	Es gibt keine negativen Auswirkungen; Umverteilung von unten nach oben wird diskutiert.	Hohe Akzeptanz (1)	Es gibt keine negativen Auswirkungen vor Ort. Hirschl (2005)
PV Freifläche	Eher niedrig (4)	Kein attraktiver Förderrahmen	Eher niedrig (4)	Zu großer Flächenverbrauch	Eher niedrig (4)	Es bestehen Flächennutzungskonflikte.

Veränderungen der Auswirkungen im Zeitablauf sollten anschließend verbal beschrieben werden, da sie mittels der Skala nicht genau genug einzustufen sein dürften.

### 3.3.9 Kriterium 10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit

Definition des Kriteriums	Planungszeiten, Nutzungsdauern und Investitionshöhe
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium sollen Pfadabhängigkeiten und Reaktionsfähigkeit gemessen werden (wie sehr legt man sich längerfristig mit diesem Technologiefeld fest und kann nicht mehr flexibel reagieren?).
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/>
Bearbeitungspriorität	Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird qualitativ angegeben und basiert auf Literatúrauswertungen oder Experteneinschätzungen, diese werden begründet.
Alternatives Vorgehen	Keines

Dieses Kriterium stellt einen Indikator dafür dar, inwieweit durch den Einsatz der Technologie Strukturen in der Energieversorgung kurz-, mittel- oder langfristig festgelegt werden. Zur Einschätzung dieser Aspekte dienen zum einen die heute übliche wirtschaftliche Nutzungsdauer der Technologie; zum anderen werden die Investitionen je Kilowatt in Abhängigkeit vom Zeithorizont abgeschätzt (Tab. 3-24). Investiti-

onen sollen nur für die Technologie selbst angegeben werden. Investitionen in zusätzlich notwendige Infrastrukturen oder weitere technische Maßnahmen bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt, da zum einen die Abhängigkeit von Infrastrukturen durch *Kriterium 11* bereits in die Bewertung eingeht und zum anderen die Zurechnung dieser Kosten zu einzelnen Technologien problematisch ist.

Weiterhin sind in Zusammenhang mit Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit technische Planungs- und Bauzeiten von Bedeutung, die daher als weitere Indikatoren aufgeführt werden. Hemmnisse wie beispielsweise langwierige Genehmigungsverfahren bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt, werden jedoch gegebenenfalls diskutiert. Die Planungszeit in Tab. 3-24 bezeichnet den Zeitraum von der konkreten Beschlussfassung zur Aufnahme des Projektes bis zur Einrichtung der Baustelle.

**Tab. 3-24 Indikatoren zur Bewertung der Pfadabhängigkeit und Reaktionszeit des Technologiefeldes X**

Variable	Einheit	Heute	2020	2030	2040	2050
Planungszeit	Monate					
Bauzeit	Monate					
Heute übliche wirtschaftliche Nutzungsdauer	Jahre					
Spezifische Investition	€ <sub>2015</sub> /Einheit					

Unter der Bauzeit ist der Zeitraum von der Einrichtung der Baustelle bis zur Inbetriebnahme der Anlage zu verstehen. Die Indikatoren beziehen sich an dieser Stelle nur auf das Technologiefeld und werden unabhängig von Infrastrukturen angegeben, die ggf. zunächst aufgebaut werden müssen, bevor die entsprechenden Technologien zum Einsatz kommen. Der Abhängigkeit von existierenden oder noch aufzubauenden Infrastrukturen wird durch das *Kriterium 11* Rechnung getragen. Die Höhe der gesamten Investitionen, die gegebenenfalls Sunk Cost darstellen, sind aus dem *Kriterium 6* zu entnehmen (summarisch).



### 3.3.10 Kriterium 11: Abhängigkeit von Infrastrukturen

Definition des Kriteriums	Abhängigkeit von Infrastruktur
Ziel des Kriteriums	Mit diesem Kriterium soll dargestellt werden, ob das Technologiefeld (oder einzelne Technologien) bei der Marktdurchdringung abhängig sind von bestehenden oder neuen Infrastrukturen.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/>
Bearbeitungspriorität	Hoch <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	Das Kriterium wird qualitativ angegeben und basiert auf Literatursauswertungen oder begründeten Experteneinschätzungen.
Alternatives Vorgehen	Keines

Die Abhängigkeit von Infrastrukturen und geografischen Gegebenheiten bestimmt die Flexibilität beim Einsatz der Technologien in Energieversorgungssystemen. So ist der Bau von Kohlekraftwerken mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung stark verbunden mit der Option, das CO<sub>2</sub> möglichst standortnah zu speichern oder zumindest günstig zu Senken transportieren zu können (Pipelineinfrastruktur). Solarthermische Kraftwerke hängen beispielsweise von der Intensität der direkten Sonneneinstrahlung am jeweiligen Standort ab. Geografische Aspekte sind hierbei hinreichend durch die Einschätzung der Potenziale einer Technologie abgebildet, da diese durch geografische Gegebenheiten ggf. begrenzt sind.

Zur Beurteilung der Abhängigkeit von Infrastrukturen werden die Technologiefelder darüber hinaus gemäß Tab. 3-25 eingestuft.

**Tab. 3-25 Abhängigkeit des Technologiefeldes X von Infrastrukturen**

	Ja	Nein
Die Nutzung der Technologie(n) ist <i>unabhängig</i> von Infrastrukturen möglich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Nutzung und Verbreitung der Technologie(n) ist von <i>bestehenden</i> Infrastrukturen abhängig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen <i>bestehende</i> Infrastrukturen ausgebaut werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen <i>neue</i> Infrastrukturen gebaut werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die Einordnung betrifft in erster Linie Infrastrukturen zur Verteilung von Strom und Wärme (Stromleitungen, Nah- und Fernwärmenetze, ggf. CO<sub>2</sub>-Pipelines), die sowohl erzeuger- als auch verbraucherseitig zur Anwendung der Technologie unbedingt erforderlich sind. Allgemeine Verkehrsinfrastrukturen (Straßen, Schienennetz, Wasserwege etc.) werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da im Allgemeinen angenommen werden kann, dass Standorte gewählt werden, an denen diese Art von Inf-

rastrukturen bereits vorhanden ist. Des Weiteren ist anzunehmen, dass jede Technologie ein Mindestmaß bspw. an Verkehrsinfrastrukturen benötigt, so dass eine diesbezügliche Einstufung kein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur Abgrenzung der Technologien darstellt. Zudem ist eine wertmäßige Zurechnung zu einzelnen Technologien bzw. Technologiefeldern problematisch, da diese Art von Infrastrukturen vielfältigen Zwecken dient.

#### Bewertungsbeispiel CCS

Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -lagerung ist abhängig von der Einrichtung von CO<sub>2</sub>-Lagerstätten und Transportinfrastrukturen für das abgeschiedene CO<sub>2</sub>. Erprobte und etablierte Transportoptionen für CO<sub>2</sub> existieren (siehe z. B. ... , Literatur...), allerdings fehlt derzeit eine Infrastruktur in Deutschland. CO<sub>2</sub>-Lagerstätten gibt es in Deutschland (technische Möglichkeiten und Potenziale bringen und mit Literatur belegen... ). Allerdings existieren hier hohe Unsicherheiten wegen ...

Tabellen-Beispiel Abhängigkeit des Technologiefeldes CCS von Infrastrukturen

	Ja	Nein
Die Nutzung der Technologie(n) ist unabhängig von Infrastrukturen möglich.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die Nutzung und Verbreitung der Technologie(n) ist von bestehenden Infrastrukturen abhängig.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen bestehende Infrastrukturen ausgebaut werden.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen neue Infrastrukturen gebaut werden.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

IKT-Infrastrukturen, die z. B. eine optimierte Einsatzplanung dezentraler Stromerzeugungsanlagen ermöglichen, sind im Kontext der Einzelbewertung von Technologiefeldern nicht ausschlaggebend, werden jedoch erwähnt, wenn sie die Möglichkeiten zum Einsatz der Technologie wesentlich beeinflussen. Optimierte IKT-Infrastrukturen könnten ein wichtiges Forschungsfeld sein, sind aber eher den Querschnittsthemen zuzuordnen (siehe auch IKT bei der Beschreibung des Technologiefeldes in Kapitel 2.3).

### 3.3.11 Kriterium 12: Systemkompatibilität

Definition des Kriteriums	Dieses Kriterium zeigt auf, inwieweit eine Technologieanwendung zu (noch näher abzugrenzenden) übergeordneten oder untergeordneten Systemen kompatibel ist. Als Maß für die Kompatibilität gelten die Teilkriterien <i>Rückwirkungen</i> , <i>Anpassungsbedarf</i> und <i>Wechselwirkungen</i> .
Ziel des Kriteriums	Mit Hilfe des Kriteriums soll abgeschätzt werden, wie groß die Rückwirkungen und Wechselwirkungen des Einsatzes bestimmter Technologien auf und mit anderen Systemen bzw. Teilsystemen sind und welcher Aufwand zur Anpassung der Systeme, die in Wechselwirkung mit der untersuchten Technologie stehen, betrieben werden muss. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass Risiken und Trade-offs, die von der Technologie bzw. dem umgebenden System ausgehen, erkannt werden und aus Gesamt-Perspektive berücksichtigt werden können.
Perspektive/Region/Abgrenzung	Deutschland und benachbartes europäisches Ausland (bezogen auf Referenzentwicklungen in deutschen und europäischen Szenarien)
(Empfohlene) Beantwortungsebene	Technologiebereich <input type="checkbox"/> Technologiefeld <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input checked="" type="checkbox"/>
Bearbeitungspriorität	Hoch <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/>
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Konkrete Definition und Abgrenzung von ein bis zu drei typischen, aber unterschiedlichen Anwendungsfällen für die zu betrachtenden Systeme geben</li> <li>2. Rückwirkungen, Anpassungsbedarf und Wechselwirkungen für die umgebenden Systeme qualitativ beschreiben und ihre Relevanz darstellen bzw. diskutieren</li> </ol>
Alternatives Vorgehen	Keins

#### Begrifflicher Hintergrund

- Allg. Definition von *System*: Einheit aus technischen Anlagen, Bauelementen, die eine gemeinsame Funktion haben (nach Duden)
- Allg. Definition von *kompatibel*: zusammenpassend, sich kombinieren lassend, zu einem System zusammensetzbar; Synonyme: verträglich; vereinbar (nach Duden)
- Allg. Definition von *Kompatibilität*: kompatible Beschaffenheit (nach Duden); für Technik: das Miteinanderfunktionieren von Teilen, ferner die Austauschbarkeit von Baugruppen, die Vereinbarkeit und Gleichwertigkeit von Eigenschaften; dabei kann ferner zwischen Aufwärts- und Abwärtskompatibilität (alte Technik versus Neuer und umgekehrt) unterschieden werden (nach Wikipedia).

Zunächst wird der Begriff Systemkompatibilität geklärt. Die folgende Begriffsbestimmung baut auf den oben gegebenen Teildefinitionen für *System* und *Kompatibilität* auf.

#### Systeme

Die zu untersuchenden Systeme entsprechen den einzelnen Technologien in den *Technologiefeldern* des Technologieportfolios. Es handelt sich somit überwiegend um Einzelanlagen wie zum Beispiel um Windkraftanlagen (WKA), Blockheizkraftwerke (BHKW), Brennstoffzellen, Wärmepumpen, Batteriespeicher etc. Diese sind im Hinblick auf die Bestimmung ihrer Systemkompatibilität zunächst auf neuralgische Teilaspekte genauer abzugrenzen oder zu differenzieren, da die genaue Ausprä-

gung dieser Systeme zum Teil einen maßgeblichen Einfluss auf die Systemkompatibilität hat.

Eine einzelne WKA wird beispielsweise eine andere Systemkompatibilität haben als ein Park aus mehreren WKA, eine synchrone eine andere als eine asynchrone WKA und eine Starkwindanlage eine andere als eine Schwachwindanlage usw. Je breiter bzw. größer diese Differenzierung wird, desto schwerer wird allerdings die Bewertung der Systemkompatibilität. Daher sollte sich die Differenzierung zunächst nur auf wenige, möglichst neuralgische und relevante Ausprägungen konzentrieren.

Dabei spielt auch die Systemgrenze und -einbettung eine wichtige Rolle, die selbst zu wählen und näher zu beschreiben ist. Diese kann bzw. wird sich vom Bezugsrahmen her unterscheiden, wie z. B. *rein intern*, *eher intern* oder *in-house* bezogen auf den Anwender und Nutzer oder *rein extern*, *eher extern* oder *übergreifend* bezogen auf die öffentliche Infrastruktur wie Stromnetz, Versorger etc. Sie sollte ferner typische (geplante) Anwendungsfälle widerspiegeln, wie z. B. eher leistungsstarke asynchrone WKA-Parks im Außengebiet von Gemeinden, Schwachwindanlagen in Waldgebieten und kleine bis mittelgroße Einzel-WKA in Gemeinden, Mischgebieten oder am Rand oder z. B. kleine BHKW für Einzelobjekte und große BHKW für Wärmenetze.

Je nach Wahl der Systemgrenze kann es zu Überschneidungen verschiedener Technologiefelder kommen, was im Rahmen dieses Kriteriums als unproblematisch angesehen wird. Auf mögliche Überschneidungen ist zu verweisen. Diese können während der Review-Phase berücksichtigt und gegebenenfalls ausgeräumt werden bzw. auch ein gemeinsamer Anwendungsfall zwischen verschiedenen Technologiefeldern konstruiert werden.

Das vorgenannte Verfahren (Definition typischer Anwendungsfälle) impliziert, dass für dieses Kriterium keine in sich konsistente Entwicklung für das Gesamtsystem vorgegeben wird. Stattdessen ist die Systemkompatibilität auf übergeordneter Ebene für die gewählten Anwendungsfälle darzustellen.

■ **Vorgehensweise, Teil 1:**

*Konkretere Definition und Abgrenzung von ein bis zu drei typischen, aber unterschiedlichen Anwendungsfällen* für die zu betrachtenden Systeme geben. Das Technologiefeld wird also anhand von Anwendungsfällen bewertet, die entweder eine Einzelanlage oder einen größeren Bestand oder beides darstellen können. Dies sollte jedoch klar definiert und beschrieben werden.

## **Kompatibilität**

Bei dem zweiten Teilbegriff *Kompatibilität* stellt sich das Problem, genauer zu definieren, was unter zusammenpassend, verträglich oder vereinbar zu verstehen und welche qualitative oder quantitative Skala dafür sinnvoll anwendbar ist (siehe unten, Vorgehen).

Eine „maximale“ bzw. vollständige Systemkompatibilität würde nach Interpretation der obigen Definitionen nur dann erreicht werden, wenn die betrachteten Systeme parallel miteinander ohne Probleme funktionieren bzw. austauschbar wären. Darunter wird hier verstanden, dass sie keine negativen *Rück-* oder *Wechselwirkungen* (siehe unten) untereinander bzw. zum Gesamtsystem aufweisen oder dass sie durch

ein anderes System oder Teile davon ausgetauscht werden könnten, ohne dass das andere System oder der Bezugsrahmen (das angrenzende System oder das Gesamtsystem) dies „merkt“. Eine vollständige Austauschbarkeit bedeutet im Umkehrschluss, dass das betrachtete System keinen *Anpassungsbedarf* bei anderen Systemen oder dem Gesamtsystem induziert. Dieses Kriterium wird für die Bewertung in operationeller Hinsicht als besser geeignet angesehen als ein Kriterium Austauschbarkeit. Wenn demnach für ein System kein Anpassungsbedarf besteht, dann ist das System (voll) kompatibel.

## Teilkriterien

Vor diesem Hintergrund werden die folgenden drei Teilkriterien zur Erfassung und Bewertung der Systemkompatibilität vorgeschlagen.

Deren *Bezugsrahmen* bildet das ausgewählte Technologieportfolio mit seinen sieben Technologiebereichen, die wiederum unterschiedlich stark nach Technologiefeldern (z. B. Biomasse, Geothermie etc.) und Anwendungsbereichen (Gas-, Strom-, Wärmeerzeugung, -nutzung etc.) differenziert werden. Die Kriterien zur Bewertung der Systemkompatibilität sind zunächst allein auf dieses Portfolio, d. h. konkret auf die *Systeme in den Technologiefeldern*, sowie das Gesamtsystem anzuwenden. Wirkungen, die darüberhinaus gehen, also z. B. potenzielle neue Innovationen betreffen könnten, sind dagegen (stärker) über das *Kriterium 10 (Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit)* zu erfassen und zu bewerten. Zu diesem Kriterium gibt es im Allgemeinen starke Schnittstellen bzw. mögliche Redundanzen, die bei der Bewertung zu beachten und ggf. abzugrenzen sind, damit sie nicht doppelt „gezählt“ werden.

### Teilkriterium 12.1 Rückwirkungen

Mit diesem Teilkriterium wird erfasst, ob und in welchem Umfang das betrachtete System zu Rückwirkungen auf den Betrieb bzw. die Auslegung von anderen Systemen führt. Zum Beispiel führt der Betrieb von (vielen) dezentralen Erzeugungsanlagen wie PVA und WKA zu Rückwirkungen auf den Verteilnetzbetrieb (Spannungshaltung oder Betriebsmittelauslastung). Dieses Kriterium bildet damit eine wesentliche Grundlage für das nachfolgende zweite Kriterium. Rückwirkungen sind (im Gegensatz zum dritten Teilkriterium ‚Wechselwirkungen‘) grundsätzlich negativ konnotiert, d.h. sie bilden unerwünschte und nachteilige Auswirkungen auf andere Systemkomponenten ab.

### Teilkriterium 12.2 Anpassungsbedarf

Dieses Teilkriterium dient, wie oben bereits dargestellt, als indirektes Kriterium für die Erfassung der *Verträglichkeit* der zu betrachtenden Systeme. Es geht dabei um die Bestimmung, mit welchem Anpassungsbedarf (im Sinne von Auslegung und Ausbau-/Verstärkungsbedarf) durch das System bei anderen Systemen oder im Gesamtsystem zu rechnen ist und wie „groß“ dieser ausfällt. Zum Beispiel erfordert der konzentrierte Ausbau von Erzeugungs- oder Lastanlagen in der Regel Anpassungen beim Energienetz (von Optimierung über Verstärkung bis zum Ausbau) oder die Installation setzt Anpassungen der angrenzenden Haustechnik etc. voraus.

### Teilkriterium 12.3 Wechselwirkungen

Bei diesem Teilkriterium geht es darum zu bewerten, ob und in welcher Art das jeweils betrachtete System mit den anderen betrachteten Systemen in Wechselwirkung steht. Dabei sind sowohl positive Wechselwirkungen (Synergien) als auch negative Wechselwirkungen (Konkurrenzen) möglich, welche hier zu unterscheiden sind. Zum Beispiel adressieren Maßnahmen zum Lastmanagement (DSM) in etwa die gleichen (Einsatz-)Zeiträume wie Pumpspeicher und dezentrale Speicher (Batterien). Sie stehen daher in Konkurrenz zueinander und weisen demnach eine negative Wechselwirkung auf, sofern ihre Potenziale nicht ausgeschöpft werden. Im Unterschied dazu können DSM- und Speichersysteme potenziell verfügbaren Strom aus erneuerbaren Energien aufnehmen und dadurch seine Abregelung und Netzengpässe reduzieren bis vermeiden helfen. Diesbezüglich und im Hinblick auf den Ausbaubedarf des Stromnetzes handelt es sich in dem Fall um eine positive Wechselwirkung.

■ *Vorgehensweise, Teil 2:*

Zur Bestimmung der Systemkompatibilität sind die folgenden *Leitfragen* zu den o. g. Kriterien zu beantworten und einzuordnen bzw. zu bewerten. Dabei sollte zwischen den Ebenen Einzeltechnologie und Technologie-Bestand unterschieden werden. Sofern möglich sollten dazu auch quantitative Angaben (z. B. aus einschlägigen Studien etc.) angeführt werden. Ansonsten reicht jedoch auch eine rein qualitative Darstellung aus.

- 4 | Welche Rückwirkungen sind von der betrachteten Technologie auf andere Technologien, angrenzende Teilsysteme bzw. das Gesamtsystem zu erwarten?
- 5 | Welcher Aufwand ist bzw. welche zusätzlichen Technologien sind nötig, um Systemkompatibilität für die betrachtete Technologie herzustellen?
- 6 | Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen der betrachteten Technologie und den anderen Technologien, angrenzenden Teilsystemen oder dem Gesamtsystem? Von welcher Art (synergetisch oder konkurrierend) sind diese?

Bei den Bewertungen zur Systemkompatibilität sind unabhängig von der Vorgehensweise die folgenden Schnittstellen und insbesondere die möglichen Redundanzen zu den anderen Kriterien (1 bis 11) zu beachten und bei Bedarf abzugrenzen:

- Marktpotenziale und ggf. Nutzungskonkurrenzen (z. B. Speicher für CCS versus geothermische Nutzung, Biomassepotenziale...): *Kriterium 3*
- Nutzung von Infrastrukturen (erforderlicher Ausbau / Aufbau von Netzen, Speichern, Backup-Systemen...): *Kriterium 11*
- Lock-In-Effekte / Be- oder Verhinderung von anderen Klimaschutz-Technologien: *Kriterien 9, 10*
- Sterbelinien & Zielkompatibilität (zeitliche Passung, z. B. Austausch von Heizungen, Kraftwerken etc., Landung bei vollständiger Dekarbonisierung): *Kriterien 1, 10*
- Verlagerung von Wirkungen (vorgelagerte Emissionen, Flächen- und Ressourcenverbrauch...): *Kriterien 4, 5, 6*
- Irreversibilität (z. B. Produktion von hochgiftigen Abfällen...): *Kriterium 10*

## ■ Gefahren & Risiken: Kriterien 6, 9

### Bewertungsbeispiel

Anwendungsfall 1: "Elektrofahrzeug/e (EKFZ) im externen DSM-Einsatz" (Einzelfahrzeug und Bestand)

Leitfrage 1: Welche *Rückwirkungen* sind von der betrachteten Technologie auf andere Technologien, angrenzende Teilsysteme bzw. das Gesamtsystem zu erwarten?

Im *Einzelfall* werden die potenziellen Rückwirkungen in der Regel als (vernachlässigbar) gering eingeschätzt.

Sie resultieren vor allem daraus, dass das EKFZ eine zusätzliche Last darstellt und zusätzlichen Stromverbrauch generiert sowie ein individuelles und extern gesteuertes Lastprofil aufweist. Sie sind ferner von der gewählten Batteriegröße im Fahrzeug, von der Ladestation (Anschlussleistung) und -strategie sowie vom angrenzenden Haus- und Stromnetz abhängig. Es kann ggf. zu merklichen Spannungsänderungen (Flickern) und unter ungünstigen Umständen zu einer Überlastung vor Ort kommen (...ggf. weiter ausführen bzw. näher erläutern und belegen sowie ggf. erweitern auf andere Optionen (z. B. Vehicle-to-Grid (V2G) Einsatz, Schnellladung)).

Bei einem großen *Bestand* (einer hohen Durchdringung) an Elektrofahrzeugen sind insbesondere Rückwirkungen auf das Stromnetz zu erwarten.

Zur Beurteilung dieser Rückwirkungen müssen mehrere Fälle unterschieden werden, z. B.: a) geregeltes und ungeregeltes Laden, b) Laden auf unterschiedlichen Spannungsebenen (Hausanschluss, Schnellladestationen) und c) Option mit und ohne Rückspeisung ins Netz (V2G, Entladen).

Insgesamt ergibt sich durch die Verlagerung von Brennstoffen zu Elektrizität im Verkehrssektor sowohl ein erhöhter (nationaler) Strombedarf als auch ein erhöhter Leistungsbedarf. Auf der Netzebene werden dadurch Anpassungsmaßnahmen – von Netzmonitoring bis hin zum Netzausbau – erforderlich. Des Weiteren wird eine Kapazitätserhöhung bei der Stromerzeugung notwendig, die durch zusätzliche (Spitzenlast-)Kraftwerke oder Speicher abgedeckt werden muss. Der Anstieg des Leistungsbedarfs kann jedoch zumindest durch geregeltes Laden reduziert werden (...ggf. weiter ausführen bzw. näher erläutern und belegen sowie ggf. erweitern auf andere Optionen).

Leitfrage 2: Welcher *Aufwand* ist bzw. welche zusätzlichen Technologien sind nötig, um Systemkompatibilität für die betrachtete Technologie herzustellen?

Im *Einzelfall* ist zunächst unabhängig von den o. g. Rückwirkungen zumindest ein zusätzlicher (intelligenter) Stromzähler sowie, falls noch nicht im Zähler integriert, die nötige Informations-, Kommunikations- und Fernwirktechnik für den DSM-Einsatz zu installieren. Bei leistungsstarken EKFZ-Batterien bzw. Ladestationen für eine Schnellladung sind zusätzliche Anpassungen (Verstärkungen) des Netzanschlusses und ggf. des Stromnetzes und der Haustechnik zu bedenken (...ggf. weiter ausführen bzw. näher erläutern und belegen).

Bei einem *großen Bestand* an EKFZ im DSM-Einsatz ... (analog zu oben weiter ausführen).

Leitfrage 3: Welche *Wechselwirkungen* bestehen zwischen der betrachteten Technologie und den anderen Technologien, angrenzenden Teilsystemen oder dem Gesamtsystem? Welcher Art (synergetisch oder konkurrierend) sind diese?

Im *Einzelfall* können die EKFZ in begrenztem Umfang für eine bessere Ausnutzung der eigenen PV-Stromerzeugung (Eigenverbrauchsoptimierung) und/oder für eine reduzierte lokale Netzbelastung durch peak-shaving der PV-Leistung genutzt werden. Sie können ggf. aber auch in Konkurrenz zu anderen lokalen DSM-Optionen wie z. B. Wärmepumpen oder anderen Power-to-Heat Lösungen stehen (...ggf. weiter ausführen bzw. näher erläutern und belegen).

Bei einem *großen Bestand* an EKFZ im geregelten DSM-Einsatz kann zum einen die Netzbelastung reduziert werden. Zum anderen ist umgekehrt und auf regionaler Ebene ggf. sogar möglich, dass die Abregelung von fluktuierend einspeisenden regenerativen Stromerzeugern verhindert oder reduziert werden kann (...ggf. weiter ausführen bzw. näher erläutern und belegen).

Mit welcher Ausprägung sich die zuvor genannten Fälle verteilen, hängt u. a. von der Nutzerakzeptanz (z. B. Bereitschaft, seinen Pkw für externe Einsatzstrategien und bestimmte Zeiten freizugeben) sowie von infrastrukturellen Gegebenheiten (Aufbau von Ladeinfrastrukturen an Privatwohnungen, Arbeitsplätzen und in öffentlichen Räumen) ab.



## Literaturverzeichnis

- Angerer, Gerhard; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, Frank; Scharp, Michael; Lüllmann, Arne; Handke, Volker; Marwede, Max (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Fraunhofer ISI. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl.
- Baumohl, Bernard (2007): Die Geheimnisse der Wirtschaftsindikatoren. 1. Aufl. München: FinanzBuch-Verl.
- BDEW (2015): Primärenergiefaktoren. Der Zusammenhang von Primärenergie und Endenergie in der energetischen Bewertung. Grundlagenpapier. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.  
[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06FBC70ECF24F3A7C1257E51003DA425/\\$file/705\\_2015-04-22\\_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06FBC70ECF24F3A7C1257E51003DA425/$file/705_2015-04-22_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf)  
Letzter Zugriff 11.01.2017
- Bitkom (2016): Entwurf eines Vorschlags für eine AG Digitalisierung im Forschungsnetzwerk Stromnetze vom 26.09.2016. Berlin: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien e.V.
- BMWi (2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.html>
- Böhmer, M.; Kirchner, A.; Hobohm, J.; Weiß, J.; Piegsa, A. (2015): Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Energiewirtschaft. Schlussbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. München/Basel/Berlin.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wertschoepfung-s-und-beschaeftigungseffekte-der-energiewirtschaft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wertschoepfung-s-und-beschaeftigungseffekte-der-energiewirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=4). Letzter Zugriff: 09.03.2017
- Breitschopf, B.; Diekmann, J. (2011): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien (economic impact of RE deployment), in: Rüschchen, T.; Gerhard M.; Sandhövel A. (Hrsg) (2011): Finanzierung Erneuerbarer Energien. Frankfurt: Frankfurt School Verlag GmbH
- Breitschopf, B.; Schlotz, A. (2013): Wirkung erneuerbarer Energien auf die Versorgungssicherheit. Untersuchung im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES)“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Fraunhofer ISI. [http://www.impres-projekt.de/impres-wAssets/docs/ImpRES\\_Energiesicherheit\\_Uebersicht-und-Vorgehensweise\\_v17.pdf](http://www.impres-projekt.de/impres-wAssets/docs/ImpRES_Energiesicherheit_Uebersicht-und-Vorgehensweise_v17.pdf) Letzter Zugriff 11.01.2017
- Breitschopf, B.; Held, A.; Resch, G. (2016): A concept to assess the costs and benefits of renewable energy use and distributional effects among actors: The example of Germany. *Energy & Environment*, 27(1)55–81.  
doi:10.1177/0958305X16638572



- Briem et al. (2004): Lebenszyklusanalysen ausgewählter zukünftiger Stromerzeugungstechniken. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Düsseldorf
- Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; de Groot, Rudolf; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce; Limburg, Karin et al. (1997): The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* 387(6630)253–60. doi:10.1038/387253a0
- Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; de Groot, Rudolf; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce; Limburg, Karin et al. (1998): The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecological Economics* 25, Special Section: Forum on Valuation of Ecosystem (5. Januar 1998) 7 – 72
- Cox, William E. (1979): Industrial marketing research. graph. Darst. New York, NY: Wiley (Ronald series on marketing management)
- Dera (2014). DERA-Rohstoffliste 2014. Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken. DERA Rohstoffinformationen 24. Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
- DLR; Fraunhofer IWES; IfnE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht an das BMU vom 29.03.2012. FKZ 03MAP146
- European Commission (2015): Better Regulation Guidelines, [http://ec.europa.eu/smart-regulation/guidelines/toc\\_guide\\_en.htm](http://ec.europa.eu/smart-regulation/guidelines/toc_guide_en.htm). Letzter Zugriff 11.01.2017
- Fitter, Alastair H. (2013): Are Ecosystem Services Replaceable by Technology? *Environmental and Resource Economics* 55(4)513–24. doi:10.1007/s10640-013-9676-5
- Fraunhofer ISE (2013): Energiesystem Deutschland 2050 – Sektor- und Energieträgerübergreifende, modellbasierte, ganzheitliche Untersuchung zur langfristigen Reduktion energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Energieeffizienz und den Einsatz Erneuerbarer Energien. Freiburg
- Fraunhofer IWES; Fraunhofer IBP; ifeu; Stiftung Umweltenergierecht (2015): Interaktion EE-Strom, Wärme, Verkehr. Endbericht, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Kassel, Heidelberg, Würzburg
- Genoese, Fabio; Wietschel, Martin (2011): Großtechnische Stromspeicheroptionen im Vergleich. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 61(6)26–31
- Greenpeace International; Global Wind Energy Council; SolarPowerEurope (2015): Energy [R]evolution - A sustainable World Energy Outlook 2015. <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Climate-Reports/Energy-Revolution-2015/>. Letzter Zugriff: 07.01.2017
- Gridlogics (2014): Gallium Nitride Technology Insight Report. <http://www.patentinsightpro.com/techreports.html>. Letzter Zugriff: 07.01.2017

- GWS; DLR; DIW; Prognos; ZSW (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Osnabrück, Berlin, Stuttgart.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/beschaeftigung-durch-erneuerbare-energien-in-deutschland.pdf;jsessionid=61EC8C90862F393A42D9711A9EA8DE0D?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/beschaeftigung-durch-erneuerbare-energien-in-deutschland.pdf;jsessionid=61EC8C90862F393A42D9711A9EA8DE0D?__blob=publicationFile&v=6). Letzter Zugriff: 09.03.2017
- Hirschl, Bernd (2015): Acceptability of Solar Power Systems. A Study on Acceptability of Photovoltaics with Special Regard to the Role of Design. Schriftenreihe IÖW 180/05. Berlin
- Hirschl, Bernd; Heinbach, Katharina; Prahl, Andreas; Salecki, Steven; Schröder, André; Aretz, Astrid; Weiß, Julika (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. Schriftenreihe des IÖW 210/15.  
[https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW\\_SR\\_210\\_Wertsch%C3%B6pfung\\_durch\\_erneuerbare\\_Energien\\_auf\\_Landes-\\_und\\_Bundesebene.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf). Letzter Zugriff: 19.03.2017
- IEA (2016): World Energy Outlook 2016. Paris: International Energy Agency
- IEA (2016): Energy Technology Perspectives 2016. Paris: International Energy Agency
- JRC (2013): Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector. JRC Scientific and Policy Reports. JRC – Institute for Energy and Transport, Oakdene Hollins Ltd, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. Internet download:  
<https://setis.ec.europa.eu/publications/jrc-setis-reports/jrc-report-critical-metals-energy-sector>. Letzter Zugriff: 11.01.2017
- Klobasa, Martin; Sensfuß, Frank (2015): CO<sub>2</sub>-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien in den Jahren 2012 und 2013 - Europaweite Modellierung der Substitutionsbeziehungen unter Berücksichtigung des deutschen Stromaußenhandels. Sachverständigengutachten. Projektnummer 55742. UBA-FB 002287
- Meffert, Heribert; Kirchgeorg, Manfred; Burmann, Christoph (2014): Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung Konzepte - Instrumente - Praxisbeispiele. 12. Aufl.: Springer Gabler
- Öko-Institut; Fraunhofer ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050. 1. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin, Karlsruhe
- Öko-Institut; Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin, Karlsruhe

- Ostertag, K.; Jochem, E.; Schleich, J.; Walz, R.; Kohlhas, M.; Diekmann, J.; Ziesung, H.-J. (2000): Energiesparen – Klimaschutz, der sich rechnet – Ökonomische Argumente in der Klimapolitik; Heidelberg: Physica-Verl.
- O’Sullivan, M.; Edler, D.; Lehr, U. (2016): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Stand September 2016. Forschungsvorhaben 21/15: Makroökonomische Wirkungen und Verteilungsfragen der Energiewende im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bruttobeschaeftigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bruttobeschaeftigung-erneuerbare-energien-monitoringbericht-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=9). Letzter Zugriff: 09.03.2017
- Prognos; EWI; GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie; Projekt Nr. 57/12; Basel/Köln, Osnabrück
- Tzimas, E. (2016): Critical Materials in Energy Technologies. Joint Research Centre.  
<https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/materials-energy/critical-materials-energy-technologies-evangelos-tzimas>. Letzter Zugriff: 11.01.2017
- UBA (2014a): Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, Anhang B. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.  
[http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba\\_methodenkonvention\\_2.0\\_-\\_anhang\\_b\\_o.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_anhang_b_o.pdf). Letzter Zugriff: 11.01.2017
- UBA (2014b): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Climate Change 07/2014, ISSN 1862-4359. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- ÜNB (2016): Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne Strom 2030. Übertragungsnetzbetreiber (ergänzend ist das Genehmigungsschreiben und darin enthaltene Änderungsbedarfe der BNetzA zu berücksichtigen)
- VDI (2016): VDI-Richtlinie 4800, Blatt 2: Ressourceneffizienz. Bewertung des Rohstoffaufwands. Entwurfsfassung. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
- Wietschel, Martin; Arens, Marlene; Dötsch, Christian; Herkel, Sebastian; Krewitt, Wolfram; Markewitz, Peter; Möst, Dominik; Scheufen, Martin (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. ISI-Schriftenreihe Innovationspotentiale. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.  
<https://www.energietechnologien2050.de> Letzter Zugriff: 11 November 2016
- Wietschel, Martin; Ullrich, Sandra; Markewitz, Peter; Schulte, Friedrich; Genoese, Fabio (Hrsg.) (2015): Energietechnologien der Zukunft. Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze. Springer Vieweg
- Wirth, Harry (2016): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Herausgegeben von Fraunhofer ISE. [www.pv-fakten.de](http://www.pv-fakten.de). Letzter Zugriff: 14.10.2016

- Wöhe, Günter (1996): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Unter Mitarbeit von Ulrich Döring. 19. Aufl. München: Franz Vahlen
- World Energy Council (2016): World Energy Scenarios 2016 – The Grand Transition, ISBN 978 0 946121 571, London
- Wüstenhagen, R.; Wolsink, M.; Bürer, M. J. (2007): Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept. *Energy Policy*, 35(5)2683-2691. doi:10.1016/j.enpol.2006.12.001
- Zipp, A., & Groß, B. (2015). Brennstoffzellenaktivitäten in Deutschland und Japan – Installationen und Patentanmeldungen. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 39(2), 105–113. <https://doi.org/10.1007/s12398-015-0152-5>

## 4 Anhang

### 4.1 Festlegung von Referenztechnologien bzw. eines Mixes an Referenztechnologien

Für jeden Technologiebereich sind Referenztechnologien oder ein Mix an Referenztechnologien festzulegen, um beispielsweise die Potenziale für Kosteneinsparungen und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale einzelner Technologiefelder ermitteln zu können (Kriterium 4, 5 und 6 benötigt eine Referenztechnologie). Die Wahl der Referenz ist zu begründen. Hierbei ist es sinnvoll, die Referenztechnologien bzw. den Mix an Referenztechnologien in Abhängigkeit von den Anwendungsbereichen der betrachteten Technologiefelder zu bestimmen. Das heißt, für jeden Technologiebereich müssen eine Referenztechnologie oder ein Mix an Referenztechnologien festgelegt werden, je nachdem, welchem Zweck die Technologien des Technologiebereiches dienen (z. B. Stromerzeugung, Stromspeicherung, Wärmebereitstellung, Energieeinsparung). Die Referenztechnologie(n) werden soweit möglich einheitlich für einen Technologiebereich festgelegt, wenn möglich auch über Technologiebereiche hinweg, und charakterisiert. Bei Effizienztechnologien ist die Verbesserung gegenüber dem durchschnittlichen Anlagenbestand 2015 anzugeben.

Ausgangspunkt zur Festlegung einer Referenztechnologie bzw. eines Mixes an Referenztechnologien bei Energieerzeugungsanlagen ist der Gedanke, dass die in TF\_Energiewende untersuchten Technologien konventionelle Technologien auf Basis konventioneller Energieträger substituieren. Da hier i. d. R. eher ein Mix an Technologien (z. B. der konventionelle Kraftwerkspark oder konventionelle Wärmeerzeugungsanlagen) substituiert wird, sollte dieser angesetzt werden. Zur Vereinheitlichung über alle Technologiefelder wird der Rückgriff auf ein Szenario empfohlen. Hierfür wird das *Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (AMS)* vorgeschlagen, welches im Rahmen der Studie *Klimaschutzszenario 2050* (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2015) als Ergebnis der zweiten Modellierungsrunde 2015 veröffentlicht wurde. Der betrachtete Zeithorizont der Studie ist 2010 bis 2050. Es ist aufgeteilt in drei Szenarien: Das Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (AMS), das Klimaschutzszenario 80 (KS80) und das Klimaschutzszenario 95 (KS95).

Im *Aktuelle-Maßnahmen-Szenario* werden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die bis Ende Oktober des Jahres 2012 ergriffen wurden. Es spiegelt somit den aktuellen Stand der energie- und klimaschutzpolitischen Rahmenbedingungen wieder. Auf dieser Basis wird die Entwicklung bis zum Jahre 2050 fortgeschrieben. Die energie- und klimaschutzpolitischen Ziele der Bundesregierung werden in diesem Szenario weitgehend verfehlt. Dieses Szenario wird als Basis gewählt, weil man daran auch die potenziellen Beiträge der Technologiefelder zur Erreichung der Klimaschutzziele darstellen kann. In Tab. 4-1 sind die wichtigsten Daten des AMS-Szenarios zusammengefasst.

Weiterhin benötigt man noch CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise. Da sie von der klimapolitischen Zielsetzung in die gleiche Richtung gehen, werden die CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise des KS80- und KS95-Szenarios hierfür übernommen (siehe Tab. 4-2).

Die Festlegung einer adäquaten Referenztechnologie obliegt der Verantwortung der Technologiefeldbearbeiter. Nachfolgende werden Beispiele zur Illustration gegeben bzw. Vorschläge gemacht.

**Tab. 4-1     Daten des Aktuelle-Maßnahmen-Szenarios**

Kriterium	Einheit	2012	2020	2030	2040	2050
Rohöl (Preisbasis 2010)	USD/b	104	103	128	160	195
Preis für CO <sub>2</sub> -Zertifikate real (Preisbasis 2010)	EUR/t	15	14	30	40	50
Sozioökonomische Rahmendaten Deutschland						
Bevölkerung	Mio.	80,6	78,8	77,8	76,2	74
Private Haushalte	Mio.	39,5	40,3	40,7	41,1	40,2
BIP preisbereinigt (Preisbasis 2010)	Mrd. EUR	2496	2752	3009	3209	3402
Personen pro Haushalt (Energieszenarien, Energiekonzept), 2010	P/HH	2,04	1,96	1,91	1,85	1,84
Preise Energieträger						
Strom (Energy-Only-Markt) (2010=2015)	Cent/kWh	3,16	4,8	7,4	13,3	12,1
Erdgas (Primärenergiepreise) (Preisbasis 2008), 2010=2015	EUR/GJ	7,6	8,1	9,4	11,4	13,9
Primärenergieverbrauch (PEV)	PJ	13.298	12.149	10.523	9.524	8.807
Kernenergie	%	11,53	6,03	0	0	0
Steinkohle	%	13,33	11,72	15,23	16,15	12,30
Braunkohle	%	11,4	12,59	9,49	7,71	6,61
Öl	%	28,16	25,85	25,11	23,54	22,4
Erdgas	%	23,52	21,91	22,88	19,88	16,3
Müll und sonstige	%	1,74	2,26	2,66	2,96	3,24
Erneuerbare Energien (Biomasse+Wasser+Wind+Solar+Geothermie)	%	10,79	21,20	26,10	30,20	38,13
Endenergieverbrauch (EEV)	PJ	9.317	8.561	7.845	7.277	6.872
Private Haushalte	%	28,39	27,08	25,85	24,39	22,76
GHD	%	15,27	15,43	15,08	14,55	14,65
Industrie	%	27,21	27,17	28,04	29,13	30,09
Verkehr	%	29,14	30,34	31,03	31,92	32,49
Bruttostromerzeugung	TWh	633	640	637	638	607
Nettostromerzeugung	TWh	593,1	604,6	606,4	607,9	580,1
Kernkraft	%	15,88	10,47	0	0	0
Steinkohle	%	18,01	15,02	19,13	19,67	13,76
Braunkohle	%	24,97	23,55	15,98	12,07	10,62
Sonstige	%	3,83	3,16	2,70	2,55	2,52
Erdgas	%	12,66	7,74	10,11	8,23	3,31
Erneuerbare	%	23,66	39,41	51,34	55,19	67,47
Import	%	0	1,80	2,10	2,90	2,80
Speicher und Backup	%	0,99	0,68	0,74	2,29	2,36

Kriterium	Einheit	2012	2020	2030	2040	2050
Indikatoren Energieproduktivität						
Einwohner/PEV	P/TJ	6,06	6,49	7,39	8	8,4
BIP real 2010/PEV	EUR/GJ	186,7	226,52	285,95	336,94	386,28
BIP real 2010/EEV	EUR/GJ	267,89	321,46	383,56	440,98	495,05
Anzahl der privaten Haushalte/EEV PHH	Haushalte/TJ	14,93	17,39	20,07	23,15	25,7
Treibhausgasemissionen (Basis 2010)						
Energiebedingt	Mt CO <sub>2</sub> -Äqu.	827	718,4	626,3	533,2	426,2
Spezifische THG-Emissionen						
THG-Emissionen, energiebedingt/BIP real 2010	g/EUR	331,33	261,05	208,14	166,16	125,28
THG-Emissionen, energiebedingt/Einwohner	t/Kopf	10,26	9,12	8,05	6,99	5,76

Quelle: Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2015)

**Tab. 4-2 CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise**

	Deutschland	KS80	KS95
		EUR/t real	EUR/t real
2020		23	30
2030		50	87
2040		90	143
2050		130	200

Quelle: Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2015)

## Beispiel

*Bestimmung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen, Primärenergieverbrauch und Stromerzeugungskosten konventioneller Kraftwerke als Referenztechnologie gegenüber erneuerbaren Technologien (Vorschlag)*

Zur Berechnung der THG-Emissionseinsparungen und der Primärenergiefaktoren von erneuerbaren Strom werden oftmals Systemstudien durchgeführt, die den verdrängten konventionellen Strom berechnen (BDEW 2015; Klobasa und Sensfuß 2015). Eine derartige Analyse kann in dem Projekt wegen des Umfangs nicht durchgeführt werden.

Die Systemstudie in BDEW (2015) kommt zu dem Schluss, dass abhängig vom Betrachtungszeitpunkt in erster Linie die Erzeugung aus Stein- bzw. Braunkohlekraftwerken im Kondensationsbetrieb durch erneuerbaren Strom verdrängt wird (für das Jahr 2012). Da im AMS-Szenario weiterhin Stein- und Braunkohle bis 2050 einen wichtigen Anteil an der konventionellen Stromerzeugung spielen (siehe Tab. 4-3), wird diese Annahme auch für die Zukunft fortgeschrieben. Dabei wird allerdings unterstellt, dass sich der Wirkungsgrad der fossilen Kraftwerke um 10 % bis 2050 steigert. Die sich ergebenden Werte für die THG-Emissionen, die eingespart werden,

sowie die Primärenergiefaktoren sind in Tab. 4-4 dargestellt. Würde man alternativ die THG-Emissionen des gesamten konventionellen Kraftwerkparks nach Entwicklung des AMS-Szenarios ansetzen, ergäben sich nur wenig abweichende Werte (2050: 831 g CO<sub>2</sub>/kWh).

Die Referenzstrompreise werden vom AMS-Szenario übernommen (durchschnittlicher Börsenstrompreis).

**Tab. 4-3 Netto-Stromerzeugung im AMS-Szenario**

TWh	2012 (2010)	2020	2030	2040	2050
Summe	593,1	604,6	606,4	607,9	580,1
Kernenergie	94,2	63,3	0	0	0
Braunkohle	148,1	142,4	96,9	73,4	61,6
Steinkohle	106,8	90,8	116	119,6	79,8
Erdgas	75,1	46,8	61,3	50,0	19,2
Erneuerbare	140,3	238,3	311,3	335,5	391,4
Sonstige	22,7	19,1	16,4	15,5	14,6
Pumpspeicher	5,9	4,1	4,5	5,4	5,5
Backup-Kraftwerke	0	0	0	8,5	8,2

Quelle: Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2015)

**Tab. 4-4 THG-Emissionen, Primärenergiefaktor und Strompreise für konventionellen Strom, der durch erneuerbaren Strom verdrängt wird**

	Einheit	2015	2020	2030	2040	2050
Primärenergiefaktor (ohne Vorketten)		2,9	2,85	2,75	2,65	2,6
CO <sub>2eq</sub> -Emissionen	g/kWh	919	900	873	838	820
Strompreis	ct/kWh	3,16	4,8	7,4	13,3	12,1

Quellen: Werte Primärenergiefaktor und CO<sub>2eq</sub> für 2015 nach BDEW (2015), Werte für Strompreise aus AMS-Szenario

**Tab. 4-5 Strompreisszenarien**

	Einheit	2014	2030	2050
Strompreis Börse AMS	€/MWh	42	133	121
Strompreis Börse KS80	€/MWh	42	76	120
Strompreis Börse KS95	€/MWh	42	99	215
Netzentgelte Niederspannung	€/MWh	68	78	78



## Vorschläge für die Festlegung der Referenztechnologien in anderen Technologiebereichen

### ■ TB1 Erneuerbare Energien

- Für erneuerbaren Strom siehe oben
- Für erneuerbare Wärme und Kälte analoges Vorgehen zu erneuerbarem Strom (oder heute dominierende konventionelle Technologie)

### ■ TB 2: Konventionelle Kraftwerke

- Als Referenztechnologie wird hier das jeweilige fossil-basierte Kraftwerk mit Entwicklungsstand 2015 vorgeschlagen

### ■ TB 3: Infrastruktur

- Hier wird vorgeschlagen, die konventionelle Technologie mit Entwicklungsstand 2015 zu wählen und anhand von definierten Versorgungsaufgaben den Vergleich durchzuführen. Für Stromspeicher ist dies in Genoese und Wietschel (2011) exemplarisch durchgeführt worden (Pumpspeicherkraftwerk dient als Referenztechnologie; zwei verschiedene Versorgungsaufgaben (einmal als Tagespeicher und einmal als Wochenspeicher) wurden zugrunde gelegt).

### ■ TB 4: Sektorkopplung

- Bei Power-to-Gas wird als Referenztechnologie die Wasserstoffherstellung über Erdgasreformierung vorgeschlagen.

### ■ TB 5: Energie- und Ressourceneffiziente Gebäude, TB 6: Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie

- Hier wird vorgeschlagen, den Anlagenbestand im Jahre 2015 als Referenztechnologie zu wählen.

## 4.2 Bandbreite in den nationalen sowie internationalen Szenarien

Tab. 4-6 und Tab. 4-7 zeigen die Bandbreite aller Technologien, die in den analysierten Szenarien ausgewiesen werden. Dargestellt sind gerundete Werte. Wenn für einzelne Technologien und Zeitschritte Nullen angegeben werden, bedeutet dies, dass die Kennwerte den betrachteten Szenarien nicht entnommen werden konnten oder eine Abrundung erfolgt ist. Für Power-to-X-Anwendungen wird der Stromeinsatz in TWh angegeben. Für Erzeugungstechnologien wird die Strom- bzw. Wärmebereitstellung in TWh<sub>el</sub> bzw. TWh<sub>th</sub> angegeben. Bei den Effizienztechnologien wird der Endenergieeinsatz in TWh angegeben. Bei Gebäuden wird der Endenergiebedarf für Raumwärme (exklusive Warmwasserbereitstellung) angegeben, bei der Industrie die Summe aus Prozesswärmebedarf und Stromeinsatz.

Hinweis: Insbesondere die internationalen Szenarien stellen oftmals nicht die Zwischenstufe Wasserstoffherzeugung dar. So ergibt sich ein verzerrtes Bild zwischen den Mengen bei PtG und PtL zu den Erzeugungsmengen an Wasserstoff. Auch die CCS-Mengen oder alternative Kohlenstoffquellen zur Erzeugung von PtG und PtL sind nicht immer konsistent. Das IZES wird zeitnah die Angaben zu Wasserstoff und, soweit möglich, auch den CCU-Bedarf abzuleiten versuchen.

**Tab. 4-6 Bandbreite (Minimum und Maximum) hinsichtlich des Technologieeinsatzes über alle analysierten deutschen Klimaschutzszenarien (-80 % und -95 %-, „Reduktionswelt“)**

TWh/a	-80%								-95%							
	2020		2030		2040		2050		2020		2030		2040		2050	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.1 Biomasse Strom	45	54	21	63	9	59	5	60	33	46	24	57	9	59	4	59
1.1 Biomasse Wärme	123	159	117	173	125	175	125	175	119	159	111	173	112	175	98	175
1.2 Geothermie Strom	1	2	4	7	8	14	12	23	0	2	0	7	2	14	5	32
1.2 Geothermie Wärme	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3 Photovoltaik	45	57	55	70	59	75	64	190	45	45	61	66	70	81	78	123
1.4 Solare Wärme und Kälte	20	26	45	49	59	72	68	95	20	23	45	61	72	84	95	96
1.5 Solarthermische Kraftwerke	0	0	0	7	0	31	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0
1.6 Windenergie	115	126	155	204	163	266	214	473	119	126	205	217	297	374	374	570
1.7 Umweltwärme	13	24	30	46	36	65	41	171	17	20	30	49	36	77	41	83
1.8 Wasserkraft	19	22	19	23	19	24	19	25	22	22	23	23	24	24	25	25
2.1 Zentrale fossile Kraftwerke Strom	206	261	144	208	79	151	36	101	210	221	142	180	101	111	22	37
2.2 Dezentrale Kraftwerke Strom	61	61	55	55	44	44	23	40	61	61	55	55	40	40	20	20
4.1 Power-to-gas (Wasserstoff, <b>Strombedarf</b> )	0	0	0	36	0	87	0	148	0	0	0	23	70	94	125	180
4.3 Power-to-fuel/chemicals (PtL, <b>Endenergie</b> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	96
5.1 Energieeffiziente Gebäude (Heizung)	622	696	493	653	393	438	314	388	653	669	487	508	351	402	291	318
6.1 Energieeffiziente Prozesstechnologien	574	673	523	638	467	623	423	552	601	726	511	674	446	643	400	607

GW	-80%							
	2020		2030		2040		2050	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.1 Biomasse Strom	7	9	5	10	1	11	1	12
1.1 Biomasse Wärme	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2 Geothermie Strom	0	0	1	1	1	2	2	4
1.2 Geothermie Wärme	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3 Photovoltaik	52	58	61	74	63	84	67	200
1.4 Solare Wärme und Kälte	0	0	0	0	0	0	0	82
1.5 Solarthermische Kraftwerke	0	0	0	0	0	0	0	0
1.6 Windenergie	49	59	64	85	67	104	79	178
1.7 Umweltwärme	0	0	0	0	0	0	0	70
1.8 Wasserkraft	4	5	4	6	4	6	4	6
2.1 Zentrale fossile Kraftwerke Strom	60	71	48	66	37	79	23	76
2.2 Dezentrale Kraftwerke Strom	15	15	15	15	14	14	13	30
3.3a Energiespeicher (thermisch, thermomechanisch & mechanisch)	9	9	12	12	16	16	16	16
4.1 Power-to-gas (Wasserstoff)	0	0	0	0	0	0	0	33
4.2 Power-to-gas (Methanisierung chemisch-katalytisch)	0	0	0	0	0	0	0	0
4.3 Gas-to-fuel/chemicals	0	0	0	0	0	0	0	0

-95%							
2020		2030		2040		2050	
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
7	9	4	10	1	10	0	10
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	2	2	5
0	0	0	0	0	0	0	0
52	54	68	76	75	90	82	130
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
51	59	78	93	98	144	115	195
0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	6	5	6	5	6
48	67	43	62	47	71	29	51
15	15	15	15	14	14	13	13
9	9	12	12	16	16	16	16
0	0	0	0	10	10	30	30
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	24	24	30	30

**Tab. 4-7 Bandbreite (Minimum und Maximum) hinsichtlich des Technologieeinsatzes über alle analysierten internationalen Klimaschutzszenarien („Reduktionswelt“ bzgl. „2 °C-Ziel“ und „besser 2 °C-Ziel“)**

TWh/a	>2°(i. Allg. 4°)								2°								<2°			
	2020		2030		2040		2050		2020		2030		2040		2050		2020	2030	2040	2050
1.1 Biomasse Strom	642	937	954	1.915	1.350	1.737	1.913	3.039	646	937	1.153	1.915	1.899	2.577	3.039	3.470	979	1.993		3.193
1.1 Biomasse Wärme	8.283	13.014	9.019	13.340		13.340	10.829		8.724	13.049	10.172	13.619		13.921		10.712	8.723	10.173		10.941
1.2 Geothermie Strom	111	190	207	916	323	448	481	3.286	113	190	292	916	548	637	1.091	3.286	210	1.149		4.547
1.3 Photovoltaik	482	942	1.193	3.844	1.847	3.760	2.703	9.914	535	942	1.532	3.844	3.209	3.252	5.103	9.914	1.090	5.067		13.613
1.5 Solarthermische Kraftwerke	27	97	109	1.601	254	459	915	8.138	31	97	325	1.601	1.118	1.450	2.798	8.138	131	2.552		14.035
1.6 Windenergie	1.316	1.932	2.540	6.278	3.881	4.928	5.392	14.938	1.585	1.932	3.838	6.278	5.756	6.127	7.309	14.938	2.158	7.737		21.673
1.8 Wasserkraft	4.349	4.449	4.613	5.382	5.382	6.230	4.937	6.655	4.349	4.466	4.613	5.694	6.755	6.891	4.937	7.443	4.349	4.621		4.966
1.X Wärmeerzeugung andere EE	576	675	843	1.210		1.965	1.545		744	1.335	1.686	6.500	3.105		18.373		1.336	6.503		19.243
1.X Meeresenergie und sonstige (Strom)	0	31	5	251	24	54	93	1.482	2	31	19	251	92	124	594	1.482	32	363		2.010
2.1 + 2.2 fossile Kraftwerke Strom	14.381	17.461	13.394	21.028	8.754	24.536	3.453	28.026	13.885	16.648	10.887	13.950	7.907	9.443	3.453	6.846	16.003	12.487	6.394	0
2.X Kernenergie	1.872	3.299	559	4.367	182	5.496	0	6.546	1.872	3.128	559	4.831	182	6.172	0	6.761	1.872	559	182	0
2.3 CCS (auch in Kohle, Gas und/ oder Biomasse enthalten)	0	0	0	463	0	1.787	0	5.472	0	22	0	1.025	0	3.498	0	4.978		per Annahme ausgeschlossen		
4.1 Power-to-gas (Wasserstoff, Erzeugungsmengen)	0	5	0	21	0	50	0	88	0	24	0	698	0		0	6.248	67	1.545		14.488
4.3 Power-to-fuel/chemicals: Synfuelerzeugung	0	0	0	463	0	1.787	0	5.472	0	22	0	1.025	0	3.498	0	4.978		per Annahme ausgeschlossen		
6. Energie- und Ressourceneffizienz Industrie: Endenergieverbrauch Sektor Industrie	36.000	41.215	40.577	45.900	41.228	49.248	40.914	52.595	33.972	39.791	33.556	41.355	30.806	41.644	27.306	41.480	33.972	33.639	31.056	27.389

### 4.3 Umrechnung von Angaben auf einer Preisbasis in US-Dollar auf die Preisbasis EURO2015

Häufig sind monetäre Daten in US-Dollar angegeben, die mit Daten in Euro verglichen werden sollen. Dabei wird in beiden Fällen i. Allg. eine Preisbasis angegeben, die dazu dient in Zeitreihen reale Preisänderungen (Relativpreisänderungen) anzugeben und diese von nominalen Preisänderungen zu trennen. Z.B. können Preisentwicklungen für Energieträger in US\$/MJ angegeben werden, wobei die US\$ auf dem Jahr 2013 basieren. Um Werte mit unterschiedlicher Preisbasis und Währungseinheit vergleichen zu können, ist eine Umrechnung erforderlich, z.B. von US\$2013 in €2015. Dazu werden gleichzeitig zwei Umrechnungen benötigt:

- 1 | Eine Umrechnung der Währungseinheit (z.B. von US\$ in €).
- 2 | Eine Umrechnung von einem auf ein anderes Basisjahr (z.B. 2013 auf 2015), wozu ein Preisindex heranzuziehen ist.

Der Vorschlag bezieht sich konkret auf die Umrechnung von US\$(Basisjahr) in €(2015), da im Projekt €(2015) als Bezugswährung und Basis gewählt wurde und als andere Währung vornehmlich US\$(Basisjahr) auftreten. Bei der Umrechnung wird auch davon ausgegangen, dass im Projekt nicht der Euroraum, sondern Deutschland interessiert.

Naheliegend sind zwei Sequenzen einer Umrechnung<sup>3</sup>:

- Methode A: Der Wert  $x$  in US\$(Jahr  $j$ ) wird durch den Wechselkurs (in US\$/€) im Jahr  $j$  geteilt und der resultierende Wert mit dem Preisindex für Deutschland im Jahr 2015 multipliziert und durch den Preisindex im Jahr  $j$  geteilt. Also erfolgt im Jahr  $j$  eine Umrechnung von Dollar in Euro; das Resultat wird dann auf Basis von Inflationsraten in Deutschland auf das Jahr 2015 umgerechnet (Methode A).
- Methode B: Der Wert  $x$  in US\$(Jahr  $j$ ) wird zuerst mit einem US-amerikanischen Preisindex im Jahr 2015 multipliziert und durch den Preisindex im Jahr  $j$  geteilt und so der Wert  $x$  auf das Jahr 2015 in US\$ umgerechnet (US\$(2015)). Anschließend wird der Wert durch den Wechselkurs (in US\$/€) geteilt und so auf €2015 umgerechnet. Also erfolgt erst eine Umrechnung auf das Jahr 2015 auf Basis der US-amerikanischen Inflationsraten und dann eine Umrechnung von US\$ in € mit dem Wechselkurs im Jahr 2015 (Methode B).

Es wird Methode A festgelegt, sich an dem Wechselkurs von 2015 – der auch nahe am aktuellen Wechselkurs liegt – zu orientieren und den Index für deutsche Erzeugerpreise des bearbeitenden Gewerbes zugrundzulegen, da dieses die Erzeugung von Energietechnologien und deren Vorprodukte umfasst<sup>4</sup>. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind in nachfolgender Tabelle **fett** gedruckt.

<sup>3</sup> Die beiden Sequenzen beschreiben die erstmalig naheliegende Vorgehensweise, jeweils eine Inflationsrate heranzuziehen, die für das Land gilt, in dessen monetären Einheiten der Zeitvergleich durchgeführt wird. Allerdings kann die Inflationsbereinigung z.B. einer Größe in US\$ mit einem für Deutschland ermittelten Preisindex nicht von vornherein als sinnlos ausgeschlossen werden. Denn es geht dabei letztendlich wiederum um die Festlegung eines – für das Problem – geeigneten Warenkorbs.

<sup>4</sup> Allerdings können auch Dienstleistungen, wie Planung oder Patente, für energietechnische Anlagen gehandelt werden.

Für **Umrechnungen von Preisen innerhalb des Euros** ist der Erzeugerpreis-Index Deutschland zu verwenden. Siehe nachfolgende Tab. 4-8.

**Tab. 4-8 Umrechnung der Preisbasis von US-Dollar zu Euro 2015**

Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Wechselkurs (US\$/Euro)	1,3257	1,392	1,2848	1,3281	1,3285	1,1095	1,1069
Preisindizes (normiert auf Wert im Jahr 2010 entspricht 100)	Deutschland						
	Verbraucherpreisindex						
	Erzeugerpreisindex (gewerbliche Produkte)						
	Verbraucherpreisindex (CPI)						
USA	100						
	100						
	100						
	100						
Umrechnung* US\$Basisjahr auf Euro2015 (Basisjahr s. Spaltenbeschriftung. Dimension: Euro2015/\$Basisjahr)	Erzeugerpreisindex (vorgeschlagene Umrechnung)						
	0,78						
	0,71						
	0,76						
erst Wechselkurs, dann Preisentwicklung in € (Methode A)	0,81						
	0,75						
	0,80						
	0,76						
erst Preisentwicklung in US\$, dann Wechselkurs (Methode B)	0,98						
	0,95						
	0,93						
	0,87						
geometrisches Mittel	0,89						
	0,85						
	0,86						
	0,79						
erst Wechselkurs (Methode A)	0,89						
	0,85						
	0,86						
	0,79						
erst Preisentwicklung (Methode B)	0,73						
	0,78						
	0,90						
	0,92						

\*(Lesebeispiel: Gegeben A US\$(2011); dies entspricht 0,71 x A Euro(2015), wenn

- erst auf Basis des Wechselkurses für 2011 die US-\$ in Euro umgerechnet werden und
- die Entwicklung der deutschen Erzeugerpreise in Euro von 2011 bis 2015 zugrunde gelegt werden



Das Forschungsprojekt „Technologien für die Energiewende“ (TF\_Energiewende) liefert einen aktuellen Überblick der zentralen Technologien, die im Rahmen der Energiewende derzeit und zukünftig benötigt werden. Durch ein Konsortium von 3 Verbundpartnern und 10 Technologiepartnern unter Federführung des Wuppertal Instituts wurden Entwicklungsstatus und Perspektiven der Technologien beschrieben sowie Forschungs- und Entwicklungsbedarfe identifiziert. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) als Teil des strategischen Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ gefördert. Die Ergebnisse gehen als zentraler wissenschaftlicher Input in die Diskussion des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung ein.

Das vorliegende „Kriterienraster“ wurde zu Beginn des Forschungsvorhabens entwickelt. Es diente ursprünglich den an der Technologiebewertung sowie an der Qualitätssicherung beteiligten Forschungsinstituten als Leitfaden zur methodisch einheitlichen Bewertung der betrachteten Technologiefelder. Das Kriterienraster ist als Ergänzung zu den umfangreichen Technologieberichten zu verstehen und macht die darin vorgenommene Bewertung transparent. Die im Kriterienraster enthaltenen 12 Bewertungskriterien fragen nach dem klimapolitischen und energiewirtschaftlichen Beitrag der jeweiligen Technologien, der Positionierung deutscher Unternehmen sowie nach Technologieoffenheit und Systemaspekten.

In der Berichtsreihe „Wuppertal Reports“ sind zum Forschungsvorhaben „Technologien für die Energiewende“ die folgenden Publikationen erschienen:

- **Wuppertal Report 12 „Kriterienraster“:**  
Darstellung der zur Technologiebewertung herangezogenen Methodik
- **Wuppertal Report 13.1 „Technologiebericht – Band 1“:**  
Ausführliche Bewertung der Technologiebereiche Erneuerbare Energien, konventionelle Kraftwerke und Infrastruktur
- **Wuppertal Report 13.2 „Technologiebericht – Band 2“:**  
Ausführliche Bewertung der Technologiebereiche Sektorkopplung, Energie- und Ressourceneffizienz in Gebäuden sowie in der Industrie und integrative Aspekte
- **Wuppertal Report 14 „Politikbericht“:**  
Zusammenfassung der Technologieberichte einschließlich einer Kurzdarstellung der Bewertungsmethodik

